

## **Porovnání světelného toku jdoucího do horního poloprostoru z venkovních elektrických stanic ČEPS s jinými světelnými zdroji**

Comparison of Luminous Flux radiated to the Upper Hemisphere from ČEPS  
Outdoor Electrical Substations with other Light Sources

**Bc. Michal Patala**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Ostrava, 2021

**Prohlášení studenta:**

„Potvrzuji tímto, odevzdání své digitální kvalifikační práce. Prohlašuji, že jsem tuto kvalifikační práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

**Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc, při vytváření této diplomové práce a trpělivost při konzultacích. Poděkovat bych chtěl rovněž rodičům, za podporu při mém studiu na vysoké škole.

**Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vzniku rušivého světla z osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice a oslněním blízkého železničního koridoru. Teoretická část popisuje vznik a omezení rušivého světla a jednotlivé osvětlovací soustavy použité v el. stanici. V programu Building Design jsou vytvořeny modely osvětlovacích soustav el. stanice před a po modernizaci. Pomocí hodnocených bodů kulové soustavy je zjištěn světelný tok jdoucí do horního poloprostoru v obou situacích. Jsou provedena měření pro nejdůležitější osvětlované plochy stanice dle normy TN\_59\_2020 a hodnoty oslnění blízkého železničního koridoru.

**Klíčová slova:**

Elektrická stanice, ČEPS, rušivé světlo, oslnění, Building Design

**Abstract:**

This diploma thesis deals with the issue of the formation of interfering light from the lighting system of the electrical substation Prosenice and the glare of the nearby railway corridor. The theoretical part describes the origin and limitation of interfering light and individual lighting system used in the electrical substation. Models of the power plants' lighting system before and after modernization were created in software Building Design. Based on the evaluated points of the spherical system, the luminous flux going to the upper hemisphere was determined in both situations. Measurements were performed for the most important illuminated areas of the station according to the TN\_59\_2020 standard and the glare value of the nearby railway corridor.

**Keywords:**

Electrical substation, ČEPS, light pollution, glare, Building Design

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů: .....	7
Seznam obrázků: .....	8
Seznam tabulek: .....	10
<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Rušivé světlo a normativní požadavky na jeho omezování .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Oslnivé světlo (oslnění) .....	13
2.1.2 Světelný přesah .....	13
2.1.3 Závojový jas oblohy .....	13
2.1.4 Podíl světla do horního poloprostoru.....	15
2.1.5 Světelně technické vlastnosti materiálů.....	16
2.1.6 Normativní požadavky na rušivé světlo.....	17
2.1.7 Environmentální zóny.....	18
2.1.8 Zatřídění elektrické stanice Prosenice do příslušné environmentální zóny:.....	19
<b>2.2 Možnosti modelování a vyhodnocování rušivého světla.....</b>	<b>21</b>
<b>ASTRA MS Software s.r.o. – Building Design .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Databáze svítidel .....	22
2.2.2 Modelování v programu Building Design .....	22
2.2.3 Instalace programu.....	22
2.2.4 Vytvoření nového projektu – osvětlení komunikace.....	22
2.2.5 Výpočet rušivého světla .....	25
<b>2.3 Popis osvětlovacích soustav elektrických stanic ČEPS a požadavky na jejich provoz .....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Definice základních pojmů .....	26
2.3.2 Omezení rušivého světla .....	27
2.3.3 Hlídací osvětlovací soustava.....	28
2.3.4 Provozní osvětlovací soustava.....	30
2.3.5 Osvětlovací soustava komunikací.....	32
2.3.6 Osvětlení stanovišť transformátorů T401, T402 a kompenzačních tlumivek.....	34

<b>3.1</b>	<b>Modelování osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice před i po rekonstrukci..</b>	<b>37</b>
3.1.1	Normálová osvětlenost – provozní pole.....	39
3.1.2	Normálová osvětlenost – hlídací perimetr.....	41
3.1.3	Normálová osvětlenost – komunikace .....	43
3.1.4	Osvětlenost celé el. stanice .....	44
<b>3.2</b>	<b>Posouzení osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice z hlediska jejího vyzařování do horního poloprostoru.....</b>	<b>45</b>
3.2.1	Porovnání výsledků měření rušivého světla.....	46
3.2.2	Ekonomické zhodnocení hlídacího osvětlení: .....	47
<b>3.3</b>	<b>Posouzení vlivu osvětlovacích soustav elektrické stanice na blízký železniční koridor.....</b>	<b>49</b>
3.3.1	Výpočet činitele oslnění GR pro blízký železniční koridor .....	51
<b>Závěr: .....</b>		<b>53</b>
Literatura: .....		55

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

ČEPS		- Česká energetická přenosová soustava, a. s.
$E_m$	(lx)	- udržovaná osvětlenost
GR	(-)	- mezní hodnota činitele osvětlení
$L_v$	(cd·m <sup>-2</sup> )	- celkový závojevý jas
$L_{ve}$	(cd·m <sup>-2</sup> )	- ekvivalentní závojevý pás v pozadí
$R_a$	(-)	- index podání barev
TŽK		- Tranzitní železniční koridor
$U_o$	(-)	- rovnoměrnost osvětlení (poměr min. k max. hodnotě osvětlenosti povrchu)

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Vznik různých druhů forem rušivého světla.....	12
Obr. 2: Umělý jas noční oblohy nad Českou republikou. ....	14
Obr. 3: Přímá a odražená složka světelného toku ze světelného zdroje.....	15
Obr. 4: Ideální zrcadlový odraz.....	16
Obr. 5: Difuzní odraz (Lambertův zářič) .....	16
Obr. 6: Satelitní mapa el. rozvody Prosenice a přilehlých obcí. ....	19
Obr. 7: logo společnosti.....	21
Obr. 8: Úvodní obrazovka softwaru Building Design.....	23
Obr. 9: Prostředí softwaru Building Design – Wils .....	23
Obr. 10: Ilustrace vytvořeného modelu. ....	24
Obr. 11: Velikost kulové soustavy hodnocených bodů, vůči velikosti modelu .....	25
Obr. 12: Výstup rušivého světla z programu Building Design. ....	25
Obr. 13: Ilustrační obrázek, Rozvodna Hradec .....	26
Obr. 14: Popis naklopení svítidla vůči základní ose.....	27
Obr. 15: Různé druhy hlídacích soustav v rozvodně Prosenice před rekonstrukcí. ....	28
Obr. 16: LED svítidlo a křivka svítivosti LED Thorn 96665389 CQ 24L70-740 WS BPS CL1 M42 .....	29
Obr. 17: Svítidlo se sodíkovou výbojkou TYP IVA1-C 70S a křivka svítivosti .....	29
Obr. 18: Vysokotlaké sodíkové svítidlo a křivka svítivosti SBP S.p.A. 04023094+A0449/65° HORO 1000 W/M NAV-T SON-T .....	30
Obr. 19: Křivka svítivosti původního provozního světloometu s metalhalogenidou výbojkou.....	31
Obr. 20: LED svítidlo – komunikace, křivka svítivosti SBP 06216496 THEOS 8/A58/W-40K-96/70W ...	33
Obr. 21: Svítidlo se sodíkovou výbojkou a jeho křivka svítivosti .....	33
Obr. 22: Svítidlo GUELL 3.....	34
Obr. 23: LED svítidlo typ .....	36
Obr. 24: Křivka svítivosti SBP 06106694 GUELL 1A40/W 60W ETRC 4000K.....	36
Obr. 25: LED svítidlo a křivka svítivosti SBP 06094494 GUELL 2A40/W 120W ETRC.....	36
Obr. 26: Model el. stanice Prosenice – před rekonstrukcí .....	38
Obr. 27: Model el. stanice Prosenice – po rekonstrukci .....	38
Obr. 28: Měřicí plocha provozního osvětlení .....	39
Obr. 29: Výpočetní plocha provozního osvětlení v el. stanici před rekonstrukcí.....	40



Obr. 30: Výpočetní plocha hlídacího osvětlení v el. stanici.....	41
Obr. 31: Měřicí plocha osvětlení komunikace.....	43
Obr. 32: Vyzařovací charakteristiky sv. toku z el. stanice před rekonstrukcí do horního poloprostoru	45
Obr. 33: Vyzařovací char. odražené složky rušivého světla z el. stanice po rekonstrukci.....	46
Obr. 34: Část provozního osvětlení v el. stanici, která míří přímo do horního poloprostoru .....	48
Obr. 35: Část osvětlení transformátoru T402 v el. stanici, která míří přímo do horního poloprostoru	48
Obr. 36: Mapa železničních koridorů v ČR .....	49
Obr. 37: Satelitní mapa el. stanice Prosenice a blízkého železničního koridoru.....	50
Obr. 38: Vytvořený model v programu Building Desing s měřicími body oslnění GR žel. koridor .....	50

## Seznam tabulek:

Tab. 1: Přípustné maximum rušivého světla ve venkovním soustavách.....	17
Tab. 2: Největší povolený podíl světelného toku jednotlivého svítidla do horního poloprostoru.....	18
Tab. 3: Minimální délka hranice jednotlivých environmentálních zón. ....	18
Tab. 4: Zařazení el. stanice Prosenice do konkrétní environmentální zóny.....	20
Tab. 5: Hodnoty hlídacích svítidel před a po rekonstrukci. ....	29
Tab. 6: Hodnoty provozních svítidel před a po rekonstrukci. ....	31
Tab. 7: Požadavky na osvětlení komunikací .....	32
Tab. 8: Hodnoty svítidel pro komunikace před a po rekonstrukci. ....	33
Tab. 9: osvětlovací soustava tlumivek po rekonstrukci el. stanice .....	34
Tab. 10: Osvětlovací soustava transformátoru T402 před rekonstrukci el. stanice.....	35
Tab. 11: Parametry svítidel osvětlení transformátoru T401 .....	35
Tab. 12: Požadavky na provozní osvětlení .....	39
Tab. 13: Vypočtené osvětlenosti provozních polí el. stanice .....	40
Tab. 14: Požadavky na hlídací osvětlení .....	41
Tab. 15: Vypočtené osvětlenosti hlídacích perimetrů el. stanice .....	42
Tab. 16: Požadavky na osvětlení komunikací .....	43
Tab. 17: Vypočtené hodnoty osvětlenosti na měřící ploše komunikace.....	44
Tab. 18: osvětlenost celé el. stanice.....	44
Tab. 19: Porovnání hodnot rušivého světla el. stanice. ....	46
Tab. 20: Ekonomické parametry hlídacího osvětlení. ....	47
Tab. 21: Maximální hodnota oslnění okolí el. stanicí Prosenice. ....	51
Tab. 22: Hodnoty oslnění žel. koridoru, pohled z kolejiště v 8 směrech po 45 ° .....	51
Tab. 23: Hodnoty oslnění žel. koridoru, pohled z kolejiště ve směru vlaku.....	52
Tab. 24: Příkon osvětlovacích soustav, rušivé světlo.....	53
Tab. 25: Oslnění železniční tratě, pohled ve směru vlaku.....	54

## 1. Úvod

Rušivé světlo je velkým problémem posledních let, a to především v průmyslových a hustě osídlených oblastech světa. Největší problém je přesvětlení noční oblohy světelnými zdroji. To ve velké míře komplikuje astronomické pozorování hvězd. Tato situace nastává ve všech lokalitách na Zemi, jak v nižších polohách, tak ve vysokohorských observatořích. Tento jev zapříčinil rychlý rozvoj ekonomiky ve všech ohledech a špatně navrhované světelné soustavy. Z tohoto důvodu roste zájem o problematiku rušivého světla a dochází k omezování světelného záření v praxi, na základě získaných informací ke snížení úrovně světelného znečištění.

Pro bližší objasnění vzniku, důsledků a eliminaci rušivého světla se touto problematikou zabývá první kapitola této práce, kde je rovněž uvedeno zařazení elektrické stanice Prosenice do uvedené environmentální zóny, dle určitých kritérií.

Druhá kapitola, je zaměřena na program, ve kterém jsou vypracovány modely el. stanice ve stavech osvětlovací soustavy před a po rekonstrukci. Je uveden pracovní postup, pro vytvoření jednoduchého světelného modelu a vysvětlení postupu k výpočtu rušivého světla.

V následujících kapitolách jsou nejprve popsány jednotlivé osvětlovací soustavy a jejich podrobné informace obou modelovaných situací.

Podle interní normy ČEPS TN\_59\_2020 jsou vypočteny dílčí osvětlované plochy, které jsou důležité pro správnou obsluhu a chod elektrické stanice. Následně je provedeno ověření všech osvětlovacích kritérií jednotlivých ploch, dle interní normy. Rovněž je počítáno rušivé světlo, pro přímou a odraženou složku a zhodnoceny všechny parametry jak rušivého světla, tak vypočtených osvětlovacích ploch. Poslední kapitola se zabývá oslněním blízkého tranzitního železničního koridoru, elektrickou stanicí Prosenice. Jsou vyhodnoceny situace při zapnutém veškerém osvětlení stanice, nebo nejběžnější situaci. Ta nastává, když osvětluje stanici pouze osvětlení hlídací, které funguje nepřetržitě 24 h.

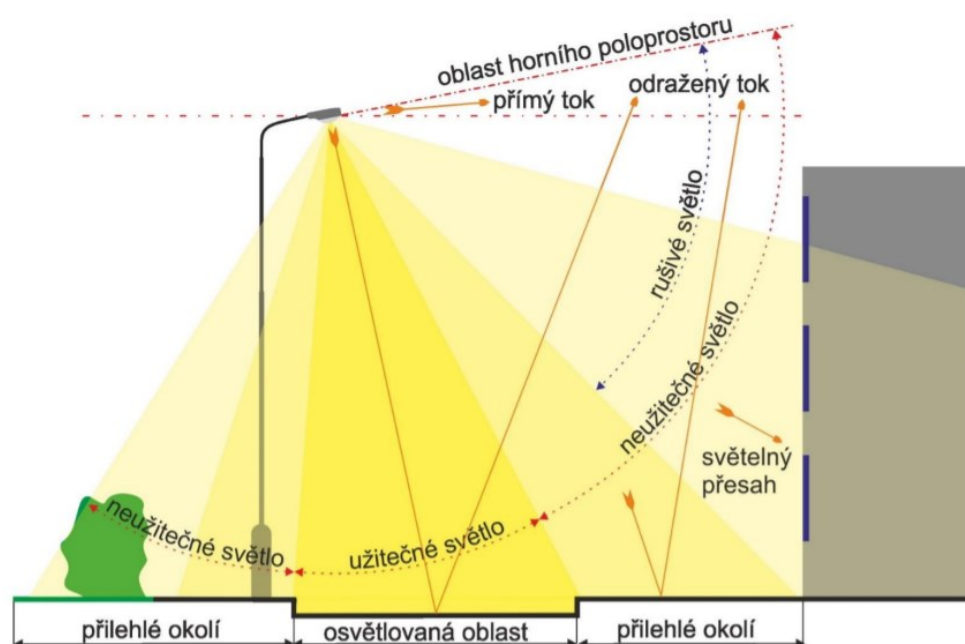
## 2.1 Rušivé světlo a normativní požadavky na jeho omezování

Rušivé světlo (světelné znečištění), neboli anglicky light pollution, je v posledních letech často probírané téma a snažíme se jej eliminovat, protože v jeho důsledku dochází ke zhoršení podmínek pro astronomické pozorování a kvalitu života ve velkých aglomeracích, vlivem osvětlování oblohy v nočních hodinách. Při vzniku světelného znečištění, je rovněž spotřebována elektrická energie a vznikají velké ztráty, které je možno úplně eliminovat, správně navrženou osvětlovací soustavou.

Při vytváření nového projektu osvětlení, si musíme nejprve uvědomit, že hlavním cílem je navržení vhodných pracovních světelných podmínek pro zvolený prostor nebo zrakový úkol. Taktéž nesmí být opomenuta energetická náročnost a ekologické vlivy okolí. Návrh nové osvětlovací soustavy by měl být proveden tak, aby byla zaručena minimální energetická náročnost s minimálním vlivem soustavy na lokální environmentální prostředí a rušivé světlo. [1]

Z hlediska příčin rušivého světla na proces zrakového vidění a také vlivů na životní prostředí, můžeme tyto projevy rozdělit na:

- Oslnivé světlo v různých formách
- Závojový pás oblohy
- Světelný přesah
- Složka světelného toku ULR [1]



Obr. 1: Vznik různých druhů forem rušivého světla [4]

### 2.1.1 Oslnivé světlo (oslnění)

Pro dostatečné rozlišení předmětů v zorném poli, musí tyto prvky mít rozdílné jasy. Rozdílnými jasy totiž vynikne jejich struktura a prostorová kompozice. Takové rozhraní se dokáže vytvořit na styku dvou rozlišných ploch jasů. Důvod, že můžeme zpozorovat předměty je dána rozdílem jasu předmětu  $L_a$  a jasu okolí  $L_b$ . Když je kontrast jasu, nebo samotný jas větší, než na který je oko adaptováno, může dojít k nepříznivému stav zrakového orgánu, tzv. oslnění.

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad [-] \quad (2.1)$$

Oslnění může vzniknout předimenzováním, nebo špatně namířeným svítidlem. Oslnivé světlo narušuje zrakovou pohodu, zhoršuje nebo znemožňuje schopnost vidění, navyšuje celkovou únavu osob a může zapříčinit úraz, nebo v nejhorším možném případě poškodit zrakový orgán. [1]

Přímé oslnivé světlo svítidly ve venkovních osvětlovacích soustavách se musí určit metodou CIE-GR založené na tomto vzorci:

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left( \frac{L_{vl}}{L_{ve,0.9}} \right) \quad [-] \quad (2.2)$$

### 2.1.2 Světelný přesah

Světelný přesah je nežádoucí světelný tok, který je distribuován za hranici své funkčnosti, tzn. dopadá do prostoru, který není potřeba osvětlovat a narušuje okolní prostředí a soukromí obyvatel. Projevuje se nejčastěji zvýšenou vertikální osvětleností ( $E_v$ ) ve svislých plochách. Zvyšuje rovněž nepatrně energetické ztráty tím, že světelný tok svítidla dopadá do míst, které není potřeba osvětlovat. Světelný přesah můžeme eliminovat správným nasměrováním světelného zdroje, nebo použitím clon, které zabraňují, aby světelný tok směřoval do nežádoucích ploch. [1]

### 2.1.3 Závojevý jas oblohy

Příčina vzniku závojevého pásu oblohy je světelný tok, který je primárně vyzařován z umělých světelných zdrojů, tedy nejen ze svítidel venkovního osvětlení, ale rovněž z odrazu osvětlených ploch. Z těchto ploch dojde k odrazu části světelného toku, který se následně šíří atmosférou. Prostup světelného záření atmosférou jsou určeny chemickým složením atmosféry. Chemické složení je dáno vodní párou, prachovými částicemi a aerosoly, které tvoří bariéru prostupujícímu světelnému záření. Každá mikročástice částečně odrazí světelný tok, část jej pohltí a rovněž část projde jejím povrchem, konkrétně vodní parou dále.

Vzorec pro celkový světelný tok:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau} \quad (2.3)$$

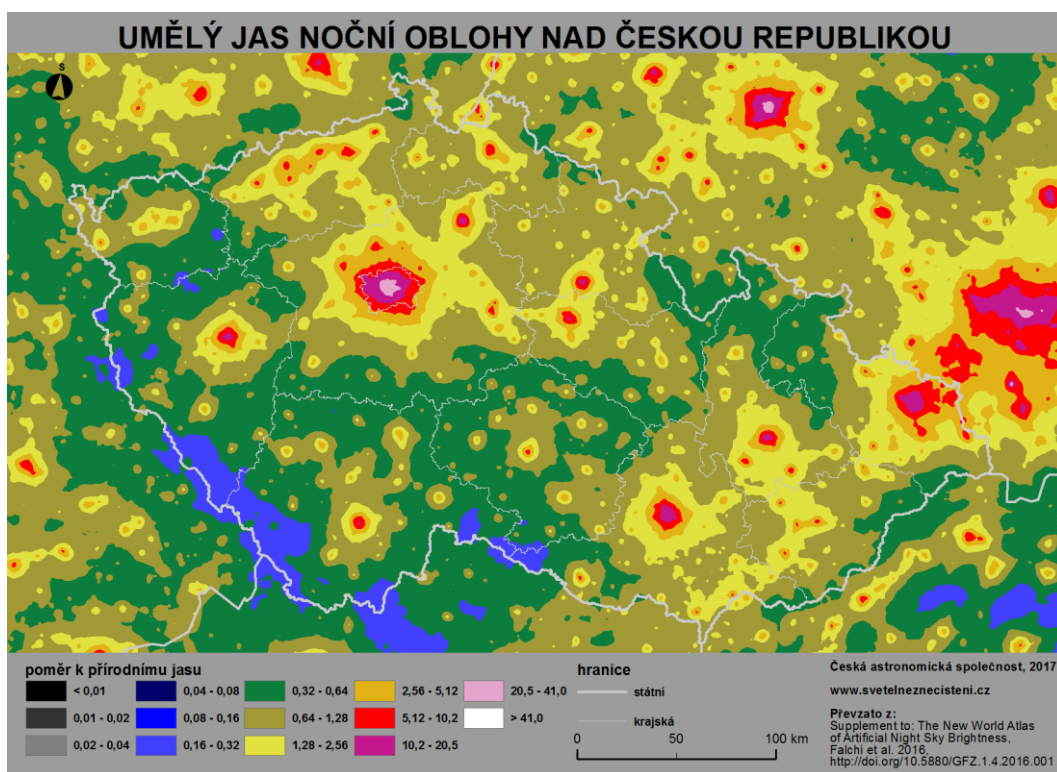
$\Phi$  - Celkový světelný tok (lm)

$\Phi_{\rho}$  - Odražený světelný tok (lm)

$\Phi_{\alpha}$  - Pohlčený světelný tok (lm)

$\Phi_{\tau}$  - Propuštěný světelný tok (lm)

Podstatná je odražená složka, která se odráží zpátky směrem k pozorovateli, nebo naráží na výše zmíněné bariéry a následně je rozptylována, pohlcována a propouštěna. Důsledkem zvyšování jasu oblohy klesne kontrast mezi jasnem oblohy a jasy objektů na obloze. Tím se sníží schopnost rozpoznávat a pozorovat objekty na obloze za touto interakcí. Závojevý pás oblohy s významem v astronomické praxi se stává hlavním tématem rušivého světla. [1]

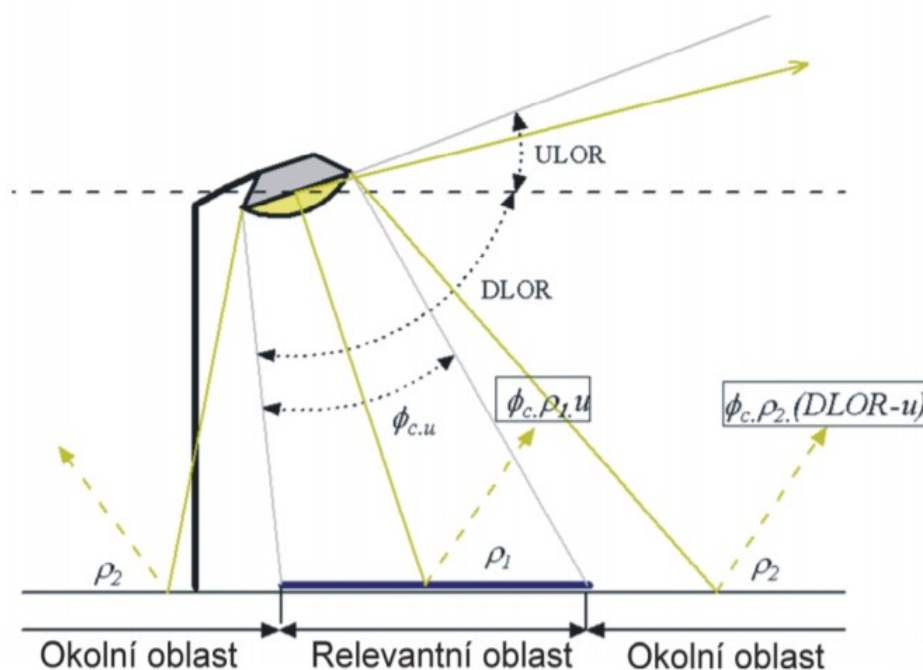


Obr. 2: Umělý jas noční oblohy nad Českou republikou. [5]

Největší závoje pásy se nachází kolem velkých aglomerací v ČR, jako jsou Praha, Brno, Ostrava, Plzeň a další větší města.

### 2.1.4 Podíl světla do horního poloprostoru

Celkový světelný tok, který dopadá do horního poloprostoru a následně narůstá závojevý pás oblohy, se skládá z přímé a odražené složky světelného toku od terénu a předmětů v blízkém okolí.



Obr. 3: Přímá a odražená složka světelného toku ze světelného zdroje [1]

$$ULR = \frac{ULOR}{ULOR+DLOR} \quad [\%] \quad (2.4)$$

ULR [%] – Celkový světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru. Minimální hodnota se blíží k nule

ULOR [%] – Světelný tok vyzařovaný přímo ze svítidla do horního poloprostoru (nad vodorovnou čarou)

UFR [%] – Celkový poměr přímé a odražené složky do horního poloprostoru

DLOR [%] – Světelný tok odražený od povrchů okolních ploch

u [%] – podíl sv. toku svítidla ke sv. toku zdrojů

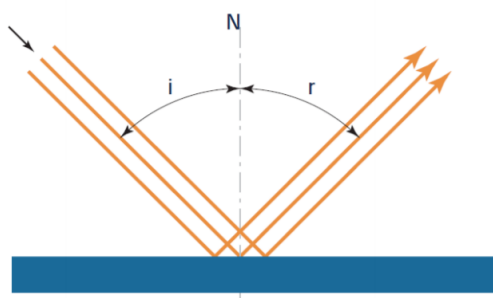
$\phi$  [lm] - Světelný tok svítidla

$\rho_1$  [%] – činitel odrazu z relativní oblasti

$\rho_2$  [%] – činitel odrazu z okolní oblasti [1]

### 2.1.5 Světelně technické vlastnosti materiálů

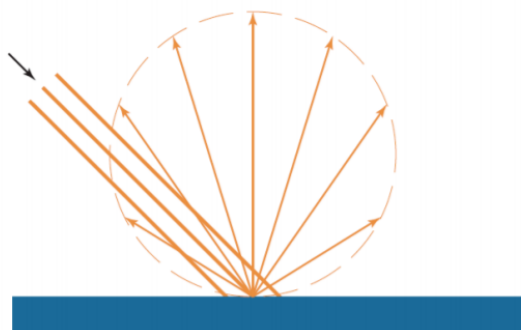
Světelně technické vlastnosti popisujeme podle toho, v jakých směrech a jak odrážejí, nebo propouští světelné záření. Nejjednodušší případ je, když odráží paprsek ve stejném úhlu, v jakém na plochu dopadl. Takový odraz se nazývá zrcadlový. Když je povrch nepravidelný, dochází k tzv. smíšenému odrazu. To je odraz kde se paprsek s nejvyšší intenzitou odráží pod stejným úhlem jako dopadl, ale dojde k odrazu paprsků s nižší intenzitou pod jiným úhlem. Ve výpočtech se pro jednoduší výpočet pracuje s ideálními odrazovými a rozptylujícími vlastnostmi. [1]



Obr. 4: Ideální zrcadlový odraz [1]

Difúzní odraz, při němž dochází k rovnoměrnému rozptylu odraženého záření do celého prostoru. Svítivost u tohoto odrazu dosahuje maximální hodnoty v kolmém směru ( $I_0$ ). V jiných úhlech se svítivost vypočte podle kosinova zákona. Předměty, které rozptylují dokonale odražené záření, nazýváme Lambertovy zářiče. [1]

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (2.5)$$



Obr. 5: Difúzní odraz (Lambertův zářič) [1]



### 2.1.6 Normativní požadavky na rušivé světlo

Norma čísla ČSN EN 12464-2 uvádí přípustné maximum rušivého světla pro ochranu a vylepšení nočního prostředí. Mezní hodnoty rušivého světla jsou rozděleny na limity rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách k minimalizaci problémů pro floru, faunu a osoby. Pro elektrické stanice je doporučeno zařazení do skupiny E2, kde je maximálně povolený světelný tok do horního poloprostoru 5 %.

Rušivé světlo v závislosti na velikosti aglomerací měst a atmosférických podmínkách, můžeme rozdělit do několika skupin dle normy ČSN EN 12646-2:

- E1 – Velmi tmavé prostory, tedy Národní parky, chráněné krajinné oblasti, observatoře mezinárodního významu (Ondřejov a klet).
- E2 – Málo světlé oblasti, jako jsou průmyslové a obytné venkovské území.
- E3 – Středně světlé oblasti představují průmyslová a obytná předměstí.
- E4 – Velmi světlé oblasti jsou městská centra a obchodní zóny.
- I – Svítivost světelného zdroje ve směru potenciálního rušení. [1]

Tab. 1: Přípustné maximum rušivého světla ve venkovních soustavách. [6]

Zóna Životního prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Světlo nahoru	Jas	
	Ev (lx)		I [cd]		ULR (%)	Lb (cd·m-2)	LS (cd·m-2)
	mimo noční klid	doba nočního klidu	Mimo noční klid	V době nočního klidu		fasády budov	znaky
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2500	25	25	1000

### 2.1.7 Environmentální zóny

Mezinárodní komise pro osvětlování vytvořila směrnici pro minimalizaci jasů oblohy CIE – 126-1997, která vznikla ve spolupráci s Mezinárodní společností pro temné nebe a Mezinárodní astronomickou unií. Směrnice je technickou zprávou, zabývající se teoretickými aspekty jasů oblohy a jsou v ní uvedeny všeobecné zásady pro omezení velikosti jasů. Obsahují limitní hodnoty podílu světelného toku svítidel do horního poloprostoru pro jednotlivé zóny prostředí k pozorování astronomických těles. [1]

Tab. 2: Největší povolený podíl světelného toku jednotlivého svítidla do horního poloprostoru. [1]

Zóna	Podíl světelného toku svítidla do horního poloprostoru [%]
E1	0
E2	$\leq 5$
E3	$\leq 15$
E4	$\leq 25$

Ve větších zkoumaných oblastech se můžou vyskytnout více environmentálních zón vedle sebe. Když tato situace nastane, neměly by přecházet tyto zóny o víc než jeden stupeň. Hranice mezi jednotlivými zónami nesmí být skokové, ale plynulé. [1]

Tab. 3: Minimální délka hranice jednotlivých environmentálních zón. [1]

Hranice zón	Minimální délka hranice [km]
E1-E2	1
E2-E3	10
E3-E4	100

### 2.1.8 Zatřídění elektrické stanice Prosenice do příslušné environmentální zóny:

Zatřídění elektrické rozvodny do určité environmentální zóny je podstatný úkol, protože nám bude dále určovat možné parametry zvolených osvětlovacích soustav, za účelem eliminování rušivého světla. Většina elektrických rozvodů společnosti ČEPS leží na odlehlějších místech ČR a jsou zařazeny do environmentální zóny E2. To nám nařizuje, že maximální podíl světelného toku do horního poloprostoru může být maximálně 5 %. [3]

#### Kritéria pro zatřídění rozvodem:

- Přilehlé hvězdárny a observatoře
- chráněná území (národní parky, chráněné krajinné oblasti, přírodní rezervace)
- přilehlé obce a města



Obr. 6: Satelitní mapa el. rozvody Prosenice a přilehlých obcí.

Tab. 4: Zařazení el. stanice Prosenice do konkrétní environmentální zóny. [3]

Rozvodna Prosenice			
	Lokalita	Vzdálenost od rozvodny	Navržená Environmentální zóna
Lokální Hvězdárna	Přerov	6,5 km	<b>E2</b>
Chráněná oblast	Přírodní památka Veselíčko	3 km	
	Národní přírodní rezervace Žebračka	4,1 km	
Obydlená oblast	Prosenice	1,4 km	
	Radvanice	1,5 km	
	Osek nad Bečvou	1 km	

**El. stanici Prosenice bych zařadil do environmentální zóny E2 z těchto důvodů:**

- Lokální observatoř Přerov se nachází ve vzdálenosti 6,5 km od rozvodny.
- Nejbližší chráněná oblast (přírodní památka Veselíčko) je vzdálená 3 km od rozvodny.
- Nejbližší a zároveň největší obydlaná oblast je Obec Osek nad Bečvou s 1300 obyvateli, která se nachází 1 km od rozvodny.
- Ostatní menší obce v blízkosti jsou, Prosenice 800 obyvatel a Radvanice 300 obyvatel.

Z těchto údajů je el. stanici Prosenice zvolena environmentální zóna **E2**, protože největším zdrojem rušivého světla v okolí je obec Osek nad Bečvou s parametry pro environmentální zónu E2.

## 2.2 Možnosti modelování a vyhodnocování rušivého světla

ASTRA MS Software s.r.o. – Building Design



Obr. 7: logo společnosti [7]

Pro navrhování osvětlovacích soustav se v dnešní době využívají softwarové programy, ve kterých jsme schopni namodelovat potřebnou osvětlovací situaci. Nejčastěji používané softwarové osvětlovací programy jsou Dialux a Building Design. Pro výpočet osvětlovací soustavy v praktické části je využit český program Building Design, takže se budeme konkrétně zabývat tímto softwarem.

Building Design je software, který zahrnuje různé moduly Wils, EN 17037, Wdls, Sunlis. Modul Wils slouží k výpočtu umělého osvětlení v interiéru i ve venkovních prostorech. Modul EN 17037 zahrnuje novou evropskou normu EN 17037 - Denní osvětlení budov, která umožňuje výpočet denního osvětlení, proslunění i kombinaci denního osvětlení v místnosti včetně umělého osvětlení za účelem řešení sdruženého osvětlení. Jednotlivé osvětlovací otvory, můžeme umísťovat do stěn, stropů včetně šikmých. Wdls se využívá pro výpočet denního osvětlení v interiéru. Sunlis se používá k výpočtu proslunění obytných domů a pozemků. Program Building Design, ve kterém nalezneme všechny tyto moduly, je nadále vyvíjen a aktualizován, akorát k dispozici zdarma je pouze modul Wils. Pro využití ostatních modulů je potřeba zaplatit poplatek za používání. Celý program je kompletně v českém jazyce a nabízí možnost exportu a importu z a do všech CAD systémů v dxf a dwg formátech. [7]

Možnosti výpočtu v modulu Wils:

- Výpočet normálové osvětlenosti, nouzového osvětlení, UGR, GR, apod.
- Výpočet ve venkovním prostoru, interiéru i komunikacích
- Výpočet možný v celé místnosti, nebo námi zvolené části prostoru.
- Kontrola parametrů a podmínek definované normou

Prezentace výpočtů:

- Výsledky můžeme zobrazit v přehledné tabulce
- možnost zobrazení výsledků různými způsoby (hodnoty, izofoty, UGR značky,...)
- Výsledky je také možno exportovat do excelu nebo programu CAD [9]

### **2.2.1 Databáze svítidel**

Databáze v modulu Wils se dělí na balíček svítidel placený a balíček, která je k dispozici zdarma. V balíčku zdarma jsou k dispozici tisíce různých typů svítidel od desítek výrobců, např. MODUS, LEDVANCE, Enika, Philips, VYRTYCH apod. V případě nenalezení vhodného svítidla v balíčku, je možnost přidání svítidla do softwaru v souboru LDT nebo IES. V programu lze dodatečně upravit některé světelné parametry, světelný tok, příkon, životnost, stárnutí zdroje. Směr světelného zdroje, lze libovolně směřovat do všech stran a úhlů naklonění podle potřeby. Umístění svítidel je možné realizovat manuálně zadáním souřadnic x, y, z, nebo automatické vložení podle počtu, nebo roztečí svítidel. [9], [8]

### **2.2.2 Modelování v programu Building Design**

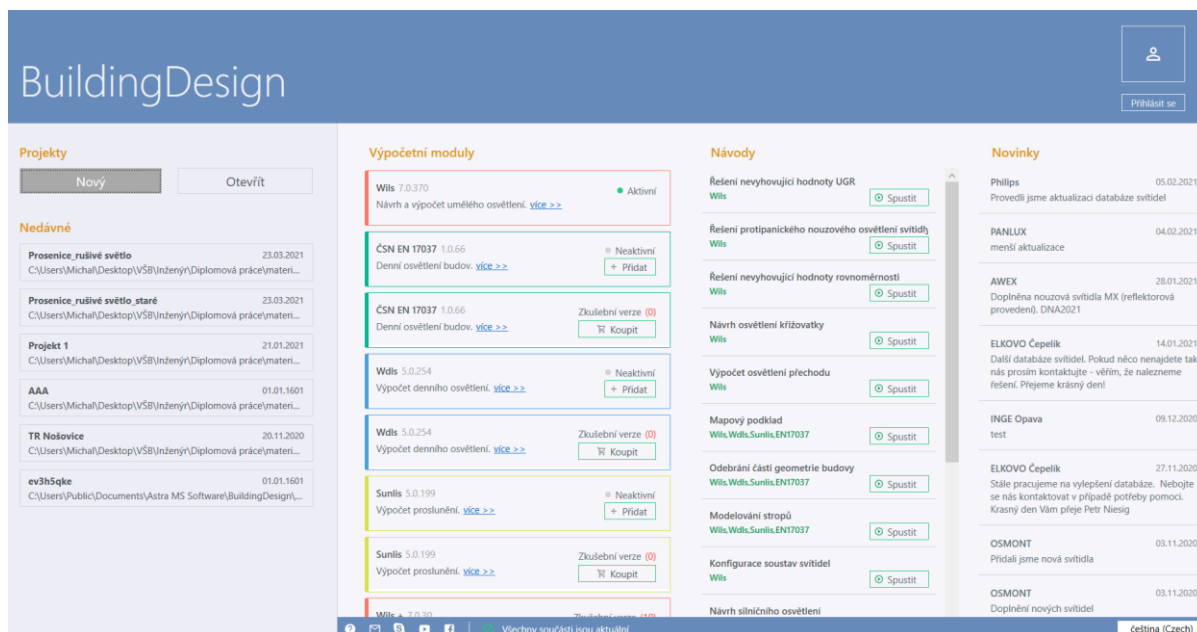
Program umožňuje jednoduchou tvorbu budov, střech, místností, překážek nebo stínících objektů. Jednotlivým objektům lze změnit odraznost, propustnost nebo barvu. Lze z CADu importovat soubory dwg nebo dxf, do kterých můžeme následně přesně vkládat svítidla a ostatní objekty, pro vykreslení reálné požadované situace v měřítku. [9]

### **2.2.3 Instalace programu**

Na stránkách výrobce programu Building Design, společnosti Astra MS software, nalezneme instalační soubor, který si následně můžeme bezplatně stáhnout a instalace je následně velmi jednoduchá. Není potřeba žádná registrace, jen souhlas s podmínkami užívání výrobce. Software se neustále aktualizuje, opravují se nově nalezené chyby, neustále se rozšiřuje databáze svítidel. Na aktualizaci software upozorní při spuštění programu a dotáže se, jestli souhlasíte s aktualizací na novou verzi, všechny aktualizace jsou zdarma. Po stažení je program opět připraven k užívání.

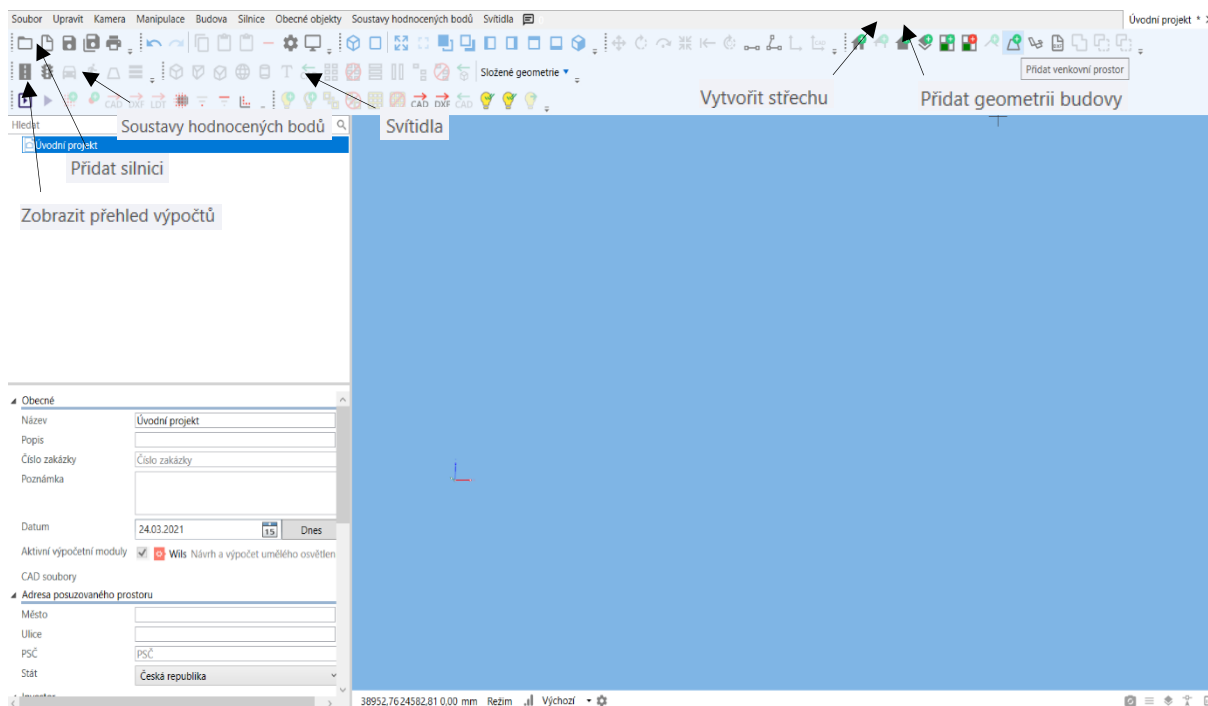
### **2.2.4 Vytvoření nového projektu – osvětlení komunikace.**

Po úvodním spuštění programu se objeví úvodní strana, která nám nabízí 4 možnosti. První možnost zobrazena na levé části obrazovky vybízí k vytvoření nového projektu, nebo lze otevřít projekt uložený. Dále lze dokoupit ostatní moduly, jak je popsáno výše, pro náš projekt si vystačíme s modulem Wils, který je k dispozici zdarma. Další možnosti jsou návody, které lze spustit a s doprovodným komentářem nám vysvětlí daný problém. Vysvětlený postup, si můžeme v kterémkoliv bodě zastavit a následně s ním dále pracovat. Poslední sloupec zobrazuje novinky, které se v poslední době aktualizacemi udály. Na obrázku níže je zobrazena úvodní obrazovka, v které jsou jednotlivé části zobrazeny. Pro vytvoření nového projektu zvolíme tlačítko Nový.



Obr. 8: Úvodní obrazovka softwaru Building Design.

Po zvolení tlačítka nový se zobrazí tabulka, ve které lze nastavit nejdůležitější informace o projektu (název, investor, zhotovitel, adresa posuzovaného prostoru). Po vyplnění informací stiskneme tlačítko ok. Zobrazí se prostředí softwaru Building Design. Na obrázku níže je obrázek zobrazující pracovní prostřední program a vyznačena tlačítka s kterými budeme pracovat. Nejprve vytvoříme plochu, kliknutím na tlačítko venkovní prostor. Zobrazí se tabulka, vybereme obdélníkový prostor a stiskneme vytvořit. Vytvořený prostor můžeme dále popsat, zvolit typ, velikost plochy, nebo materiál (barva, jas, činitel prostupu, odraznost)

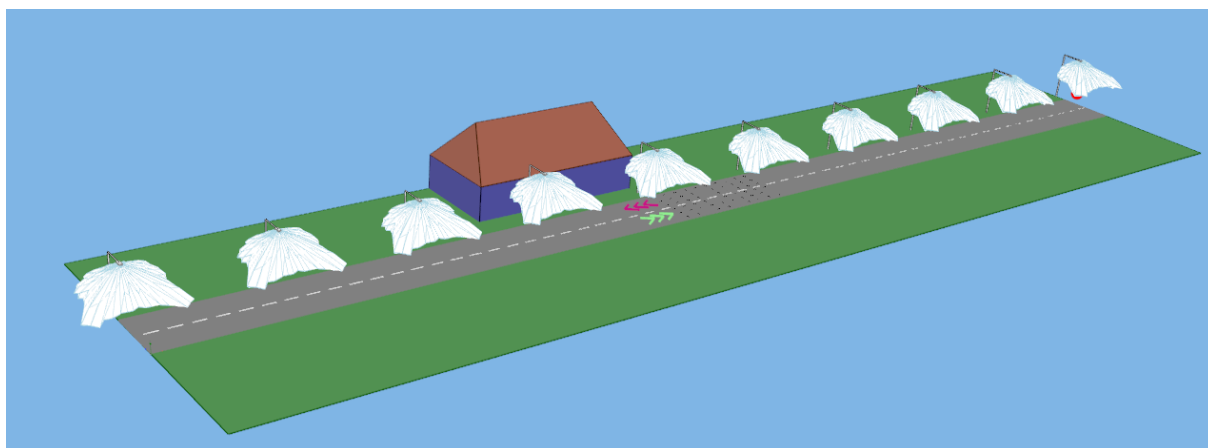


Obr. 9: Prostředí softwaru Building Design – Wils.

Přidáme silniční komunikaci, kliknutím na tlačítko přidat silnici. Zobrazí se tabulka, která nám umožňuje zvolení povrchu vozovky, třídy osvětlení, počet jízdních pruhů, šířku a směr jízdy. Po zvolení vámi nastavených hodnot zvolíme dokončit a vytvoří se silnice.

Pro osvětlení komunikace, zvolíme tlačítko přidat svítidla. Následně zvolíme silniční soustavu svítidel, kde se otevře databáze svítidel, ve které můžeme zvolit svítidlo od různých výrobců a jednotlivých typů, které se hodí pro námi tvořený projekt. Databáze má také filtry, pro rychlejší vyhledání vhodného svítidla. Filtry jsou, světelný zdroj (LED, žárovky, zářivky, výbojky), příkon svítidla, činitel podání barev, krytí IP nebo skupiny pro vhodnost použití svítidel (komunikace, průmyslová, bytová). Po zvolení vhodného svítidla, zvolíme vybrat a zobrazí se tabulka Nová soustava svítidel. V tabulce lze nastavit výšku instalování svítidla od země, rozteč svítidel a další. Po nastavení osvětlovací soustavy zvolíme dokončit a osvětlovací soustava se vykreslí na pracovní ploše.

Následně vytvoříme objekt, kliknutím na tlačítko přidat geometrii budovy, následně zvolíme obdélníková budova a zobrazí se tabulka, ve které nastavíme geometrii budovy a její barvu a klikneme na dokončit. Objekt můžeme libovolně umístit v ploše. Na objekt lze přidat střechu, kliknutím na objekt a následně na tlačítko přidat střechu. Střechu můžeme libovolně nastavit, např. změna barvy, změna naklonění střechy.



Obr. 10: Ilustrace vytvořeného modelu.



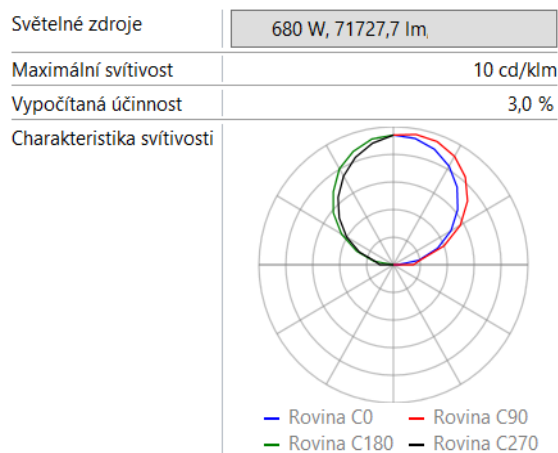
## 2.2.5 Výpočet rušivého světla

Do vytvořeného modelu přidáme soustavu hodnocených bodů, kliknutím na přidání soustavy hodnocených bodů na liště, uvedeném na obrázku č. 9. Z tabulky, kde máme na výběr různé možnosti, zvolíme variantu kulová soustava hodnocených bodů. V dalším kroku zvolíme název a velikost kulové soustavy. Při zadávání velikosti musíme vždy nastavit velikost kulové soustavy minimálně 6x větší, než je velikost navrhované plochy.



Obr. 11: Velikost kulové soustavy hodnocených bodů, vůči velikosti modelu.

Rušivé světlo lze vypočítat pro přímou nebo odraženou složku světelného toku. Jednotlivé nastavení nalezneme při kliknutí na tlačítko Zobrazit přehled výpočtů a následně nastavení. Pro výpočet rušivého světla přímé složky zvolíme počet odrazů 0. Pro výpočet rušivého světla s odraženou složkou nastavíme počet odrazů na 1. Následně klikneme na tlačítko Spustit výpočet. Po ukončení výpočtu, zobrazíme výsledek tak, že klikneme nejdříve na položku, kterou chceme zobrazit a následně v liště na tlačítko LDT (Exportovat svítidlo).



Obr. 12: Výstup rušivého světla z programu Building Design.

## 2.3 Popis osvětlovacích soustav elektrických stanic ČEPS a požadavky na jejich provoz

Při návrhu osvětlovacích soustav elektrických stanic, nejprve zadavatel stanoví požadavky, kterých chce při inovaci dosáhnout. Následně jsou dodány zhotoviteli potřebné dokumenty, pro možnost realizace projektu. Při zhotovování je kladen důraz na důležité objekty a plochy, které je podstatné správně osvětlovat. Velký důraz je kladen na tyto místa: [3]

- Pole rozvodny, vypínače, odpojovače
- Hlídací osvětlení
- Osvětlení komunikací a přístupových cest k domkům
- Transformátory, Tlumivky



Obr. 13: Ilustrační obrázek, Rozvodna Hradec [10]

### 2.3.1 Definice základních pojmů

- Elektrická stanice – Druh uzavřené elektrické provozovny, provozované za účelem výroby, přeměny nebo rozvodu elektrické energie.
- Provozní osvětlení – Osvětlení technologických celků při kontrole zařízení za snížené viditelnosti.
- Hlídací osvětlení – Osvětlení perimetru areálu a dalších ploch pro správnou funkčnost kamerového systému.
- Osvětlení komunikací – Osvětlení komunikací, chodníků a vnitřních cest umožňující bezpečný pohyb osob a mechanizace při snížené viditelnosti. [11]

### 2.3.2 Omezení rušivého světla

Pro návrh svítidel v elektrických stanicích ČEPS je nutno se držet požadavků na omezení rušivého světla, dle normy ČSN EN 12464-2, tabulka2: Přípustné maximum rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách. Doporučené zařazení stanic pro zónu životního prostředí je env. zóna E2. Rozvodna Prosenice jsou zařazeny do zóny E2, max 5 % světelného toku jdoucího ze všech svítidel do horního poloprostoru. V případě jiného zařazení do environmentální zóny musí být zdůvodněn důvod projektantem venkovního osvětlení. Pravidla a požadavky na osvětlení elektrických stanic ČEPS jsou shrnuty v interní normě ČEPS TN\_59\_2020. [11]

Rozdělení osvětlovacích soustav, podle požadavků na jednotlivé okruhy:

- Provozní osvětlení
- Hlídací osvětlení
- Osvětlení komunikací [11]

#### Světelná studie

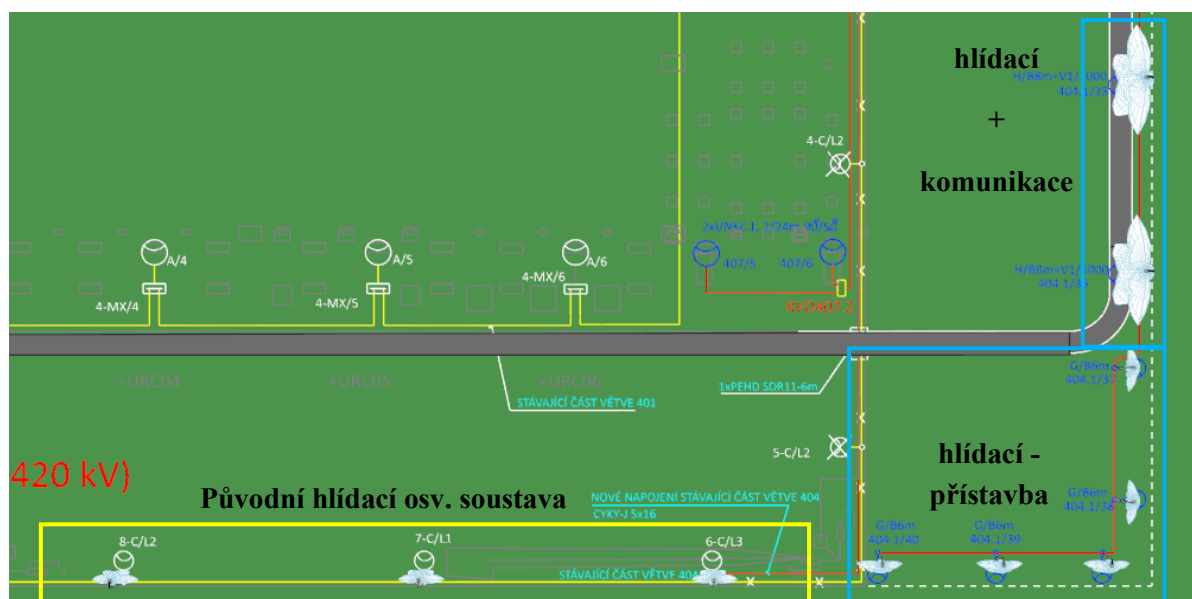
Při výstavbě nové el. stanice, nebo větší rekonstrukci, bude vypracována světelná studie, která posoudí stávající stav venkovního osvětlení a návrh nové osvětlovací soustavy s ohledem na světelné znečištění. [11]



Obr. 14: Popis naklopení svítidla vůči základní ose. [16]

### 2.3.3 Hlídací osvětlovací soustava

Hlídací osvětlení v el. stanicích slouží k osvětlení hlídacího perimetru, aby byla zajištěna funkčnost kamerových systémů dálkového dohledu ostrahy daného objektu a správná funkce rozeznávání obličejů, při možném vniknutí neoprávněné osoby na území stanice. Hlídací osvětlovací soustava je instalována podél celého venkovního oplocení včetně vchodů do domku, centrálního domku, vjezdu a podél provozního oplocení, které má za úkol oddělit ostatní společnosti (ČEZ, EON, atd.) od technologické části ČEPSu. Hlídací osvětlení je řízeno soumrakovým spínačem nebo astronomickými hodinami, lze jej vypnout a zapnout dálkově mimo oblast působení soumrakového spínače. Zabezpečuje správné snímání kamer monitorující hlídací perimetr a je společné pro celou elektrickou stanici. Hlídací osvětlení svítí v noci bez ohledu na ovládání celou dobu. [11], [12]



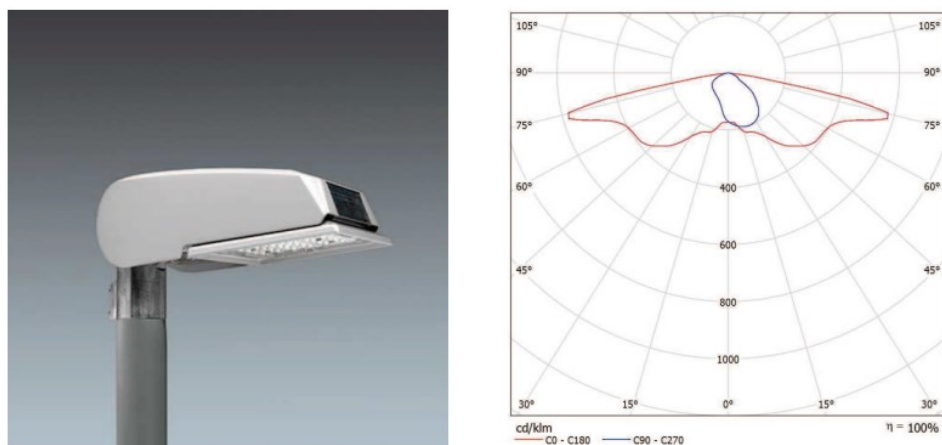
Obr. 15: Různé druhy hlídacích soustav v rozvodně Prosenice před rekonstrukcí.

#### Svítlidla

Před rekonstrukcí el. stanice Prosenice, bylo pro hlídací osvětlení použity silniční svítidla se sodíkovou výbojkou Typ IVA1-C 70S, 81 W. V první fázi byly instalovány svítidla ve výšce 8 m nad terénem, v počtu 11 kusů. Tyto svítidla jsou příkladově vyznačena na obr. 15, ve žlutém obdélníku. Světelný tok těchto svítidel směřoval od oplocení k poli rozvodny. Následně byla stanice rozšiřována a zvětšila se zastavěná plocha a rozšířilo hlídací oplocení. Byly přidány nové hlídací světelné zdroje vyznačeny opět na obr. 15, v modrých obdélnících. Svítidla byly stejného typu jako předchozí verze, montovány ve stejné výšce 6 m v počtu 17 ks, akorát byla snížena rozteč mezi svítidly z 47 m na 19 m a otočil se směr sv. záření, nyní světelný tok směřoval od pole rozvodny k oplocení, otočení o 180° vůči původnímu stavu. Přístavba také zahrnovala 5 ks svítidel montovaných ve výšce 8 m, které byly použity pro osvětlování komunikací a zároveň jako hlídací a byly směřovány rovněž od oplocení k poli rozvodny.

Po modernizaci el. stanice se vyměnily všechny světelné soustavy včetně hlídacích. Sodíkové svítidla, byly nahrazeny svítidly LED typ Thorn 96665389 CQ 24L70-740 WS BPS CL1 M42 v počtu 46 ks a směřující k oplocení. Sjednotila se rovněž výška a rozteč všech svítidel podél plotu na hodnotu 7 m nad terénem a rozteče 26 m mezi jednotlivými svítidly. Vzdálenost instalovaných svítidel od oplocení

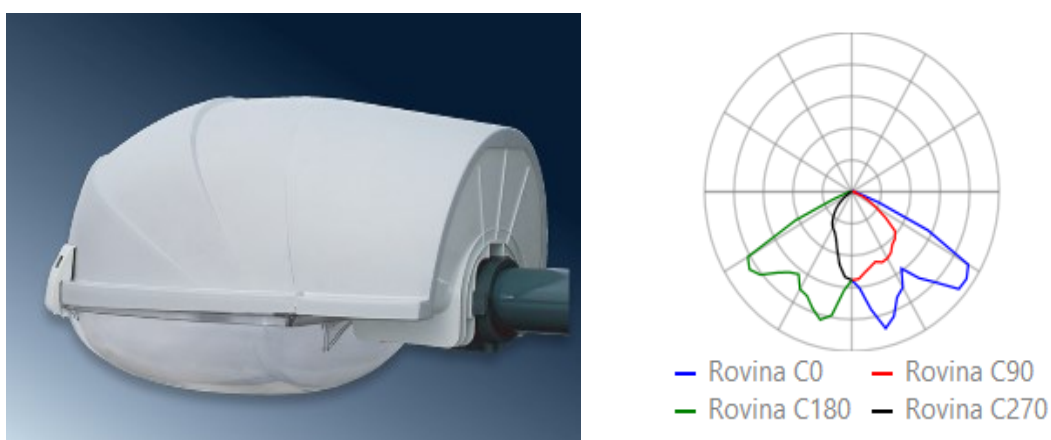
rozvodny je 4 m. Tato vzdálenost je potřebná pro vymezení hlídacího perimetru, který slouží pro hlídací kamery, aby mohly spatřit osoby, které se budou pokoušet vniknout na území el. stanice.



Obr. 16: LED svítidlo a křivka svítivosti LED Thorn 96665389 CQ 24L70-740 WS BPS CL1 M42 [17]

Tab. 5: Hodnoty hlídacích svítidel před a po rekonstrukci.

Příkon	Světelný tok	Počet kusů	Naklopení svítidla	Instalovaná výška	Teplota chromatičnosti	Životnost
[W]	[lm]		[°]	[m]	[K]	[h]
Nové hlídací svítidlo LED Thorn 96665389 CQ 24L70-740 WS BPS CL1 M42 - Ra 70						
52	7 454	46	0	7	4000	50 000
Původní silniční svítidlo se sodíkovou výbojkou Typ IVA1-C 70S, Zdroj LU70T, LUKALOX trub. E40						
81	6 000	28	0	6/8	2000	28 500



Obr. 17: Svítidlo se sodíkovou výbojkou TYP IVA1-C 70S a křivka svítivosti.

### 2.3.4 Provozní osvětlovací soustava

Provozní osvětlení slouží k osvětlení technologických prvků, aby na jednotlivých částech mohla být prováděna celková kontrola zařízení. V případě nestandardních situací (oprava, údržba, kontrola, atd.), kdy je nutno situaci provádět pod umělým osvětlením, je provozní osvětlení doplněno osvětlením mobilním (přídavným)

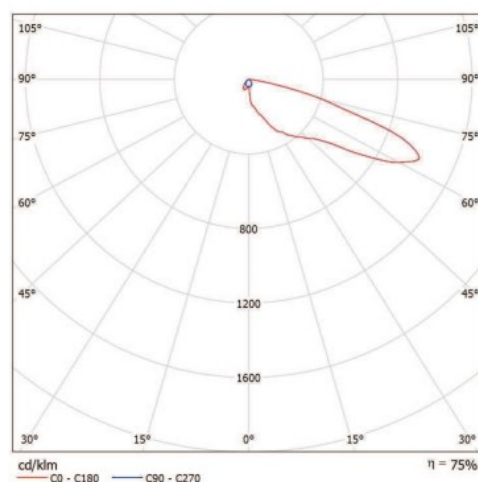
Provozním osvětlením jsou osvětlovány:

- Prostor stanoviště transformátorů a tlumivek
- Prostor vypínačů a přístrojových transformátorů u vypínačů

Jednotlivé provozní skupiny jsou ovládané samostatně, místním ovládáním z centrálního domku (CD) a z domku sekundární techniky. [11]

#### Svítlidla

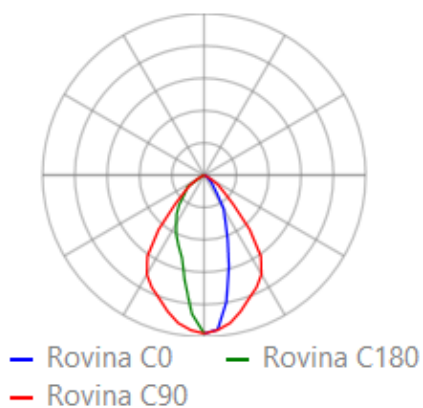
Po modernizaci provozního osvětlení byla nahrazena původní osvětlovací soustava se světlomety s metalhalogenidovou výbojkou typ IZM-D X528CABLE 2000 v počtu 18 ks moderními vysokotlakými výbojkami typ SBP S.p.A. 04023094+A0449/65° HORO 1000 W/M NAV-T SON v počtu 17ks. Po modernizaci výrazně klesla spotřebovaná el. energie provozní soustavy, protože vysokotlaké výbojky spotřebují při provozu o více než 50 % méně energie, oproti původní soustavě. Nová soustava je naklopená v 0° úhlu vůči své základní ose, navíc se 65° stínícím nástavcem, oproti 50° naklopením původní sestavy, to představuje maximální omezení přímé složky do horního poloprostoru a eliminaci světelného znečištění tvořeného původní provozní osvětlovací soustavou. Nová svítidla jsou rovněž natočena do stran za účelem osvětlování nejdůležitějších provozních prvků elektrické stanice, pro dosažení největšího využití.



Obr. 18: Vysokotlaké sodíkové svítidlo a křivka svítivosti SBP S.p.A. 04023094+A0449/65° HORO 1000 W/M NAV-T SON-T [18]

Tab. 6: Hodnoty provozních svítidel před a po rekonstrukci.

Příkon	Světelný tok	Počet kusů	Naklopení svítidla	Instalovaná výška	Teplota chromatičnosti	Životnost
[W]	[lm]		[°]	[m]	[K]	[h]
Nové provozní sodíkové svítidlo SBP S.p.A. 04023094+A0449/65° HORO 1000 W/M NAV-T SON-T						
1000	96 988	17	0	23	2000	30 000
Původní světlomet s metalhalogenidovou výbojkou typ IZM-D X528CABLE 2000,						
Zdroj:MASTER MHN-LA X528/C 2000/842, 2000 W, 220 000 lm, 4000 h						
2 280	220 000	18	50	24	4 200	4 000



Obr. 19: Křivka svítivosti původního provozního světlometu s metalhalogenidovou výbojkou.



### 2.3.5 Osvětlovací soustava komunikací

Slouží k provozu osvětlení důležitých vnitřních komunikací, cest a chodníků ve venkovních prostorech transformovny, aby byl zajištěn bezpečný provoz, pohyb osob a mechanizace za snížené viditelnosti. Osvětlení komunikací je zařazeno do kategorie osvětlení pro pomalu jedoucí vozidla (max 10 km/h). [11]

Tab. 7: Požadavky na osvětlení komunikací.[11]

Druh prostoru, úkonu nebo činnosti	$E_m$ [lx]	$U_o$ [-]	$GR_L$ [-]	$R_a$ [-]
Komunikace vyhrazena pro pomalu jedoucí vozidla i chodce	10	0,40	50	20

Z pohledu důležitosti vnitřních komunikací jsou osvětleny hlavní komunikace (příjezdová komunikace od brány k centrálnímu domku (CD), komunikace mezi CD a domky sekundární techniky a stanoviště transformátorů a tlumivek), pro tyto komunikace je požadována minimální osvětlenost  $E_m = 10$  lx. Ostatní komunikace mohou být osvětlovány  $E_m = 5$  lx, nebo využijí provozní osvětlení. Osvětlení komunikace u vstupní vjezdové brány musí splňovat hodnotu minimální osvětlenosti  $E_m \geq 50$  lx, aby kamera mohla identifikovat příjezdějící/vyjíždějící vozidlo do areálu. [11]

#### Osvětlení vstupů do centrálního domku, domku sekundární techniky a do ostatních stavebních objektů.

Osvětlení vstupů do centrálního domku a domku sekundární techniky bude zajišťováno světlometem s LED svítidlem a bude součástí hlídacím osvětlení, což znamená že bude svítit i v noci. Ostatní stavební objekty (sklady, garáže, atd.) budou řešeny jednotlivě z rozvaděče silnoproudých rozvodů. [11]

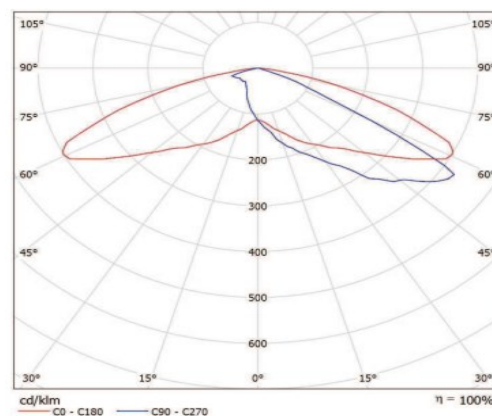
#### Svítidla

Původní stav osvětlovací soustavy komunikací zahrnoval 2 typy svítidel. Prvním typ, který pokrýval převážnou část komunikací byla sodíková výbojka IVA1-C 70S, 70W se světelným tokem 6000 lm v počtu 21 ks v závěsné výšce 6 m nad terénem. Druhý typ silničního svítidla se sodíkovou výbojkou IVA1-C 150S, 150W světelný tok 15 000, se používal pro osvětlování komunikací a zároveň jako hlídací, proto byla zvýšena jejich instalovaná výška na 8 m. Modernizace umožnila instalování moderních LED svítidel typ SBP 06216496 THEOS 8/A58/W-40K-96/70W světelný tok 7 172 lm v počtu 63 ks. Závěsná výška se ustálila na 6 m v celé ploše stanice a nyní slouží jen k osvětlování komunikací pro pomalu jedoucí vozidla a chodce.

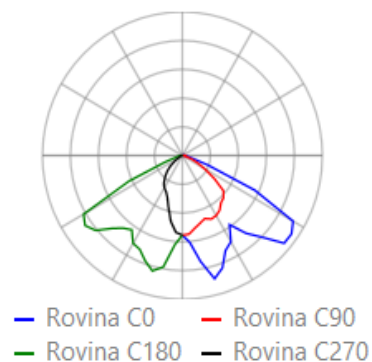


Tab. 8: Hodnoty svítidel pro komunikace před a po rekonstrukci.

Příkon	Světelný tok	Počet kusů	Naklopení svítidla	Instalovaná výška	Teplota chromatičnosti	Životnost
[W]	[lm]		[°]	[m]	[K]	[h]
SBP 06216496 THEOS 8/A58/W-40K-96/70W						
63	7 172	63	10	6	4000	50 000
Původní silniční svítidlo se sodíkovou výbojkou Typ IVA1-C 70S, 70W, Zdroj LU70T, LUKALOX trub. E40, 70W, 6000lm, 28 500h						
81	6 000	21	0	6	2000	28 500
Původní silniční svítidlo se sodíkovou výbojkou Typ IVA1-C 150S, 150W, Zdroj LU150T, LUKALOX trub E40, 150W, 15 000, 28 500h						
165	15 000	5	0	8	2000	28 500



Obr. 20: LED svítidlo pro komunikace a kři. svítivosti SBP 06216496 THEOS 8/A58/W-40K-96/70W [19]



Obr. 21: Svítidlo se sodíkovou výbojkou a jeho křivka svítivosti.

### 2.3.6 Osvětlení stanovišť transformátorů T401, T402 a kompenzačních tlumivek

S ohledem na bezpečnost je stanoviště osvětleno, zejména v horní části stroje včetně průchodek. Kde jsou umístěny důležité zařízení stroje, je nutné horizontální a vertikální osvětlenost minimálně  $E_m = \geq 50 \text{ lx}$ . [11]


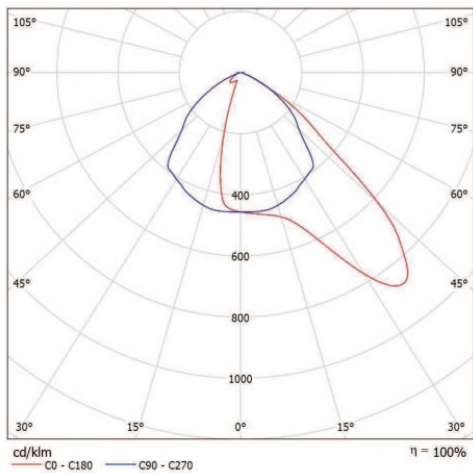
Následné porovnání následujících svítidel Transformátorů T401, T402 a kompenzačních tlumivek před a po rekonstrukci není možné. Z těchto důvodů:

Světelné podklady k transformátoru T401 před rekonstrukcí nebyly v projektu zahrnuty a nelze je zakomponovat do vytvořeného modelu a následně porovnat jeho vliv na světelné znečištění.

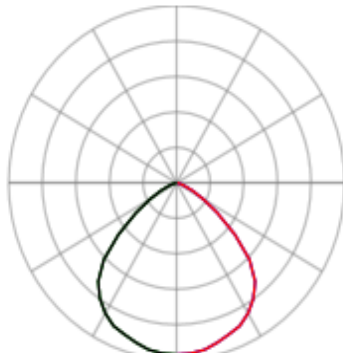
Transformátor T402 je zahrnut v modelu před rekonstrukcí a je řádně osvětlen, ale nebyly zjištěny materiály po rekonstrukci a nelze je tedy porovnat.

Kompenzační tlumivky byly při rekonstrukci nově zakomponovány do el. stanice a osvětleny dvěma LED svítidly. Nelze je tedy porovnat s předchozím stavem, kdy nebyly v el. stanici použity.

Tab. 9: osvětlovací soustava tlumivek po rekonstrukci el. stanice

Nová osvětlovací soustava LED kompenzačních tlumivek v elektrické stanici Prosenice					
Název svítidla		SBP 06116594 GUELL 3/A40/W 260W 4K94 ETRC			
					
Obr. 22: Svítidlo GUELL 3 [20]					
Výkon [W]	Světelný tok svítidla [lm]	Počet kusů	Naklonění svítidla [°]	Výška stožárů [m]	Teplota chromatičnosti [K]
253	18 488	2	20	6	4000

Tab. 10: Osvětlovací soustava transformátoru T402 před rekonstrukci el. stanice.

Původní osvětlovací výbojková soustava transformátoru T402 v elektrické stanici Prosenice				
Název svítidla		reflektor s metalhalogenidovou výbojkou		
Zdroj		HQI-E 400/N E40, POWERSTAR HQI-E 400W, 40 000lm, 12 000h		
<div></div> <div><div>Rovina C0</div><div>Rovina C90</div><div>Rovina C180</div><div>Rovina C270</div></div>				
Výkon [W]	Světelný tok svítidla [lm]	Počet kusů	Naklonění svítidla [°]	Výška stožárů [m]
400	40 000	8	40	9

#### Nová osvětlovací soustava LED Transformátoru T401 v elektrické stanici Prosenice

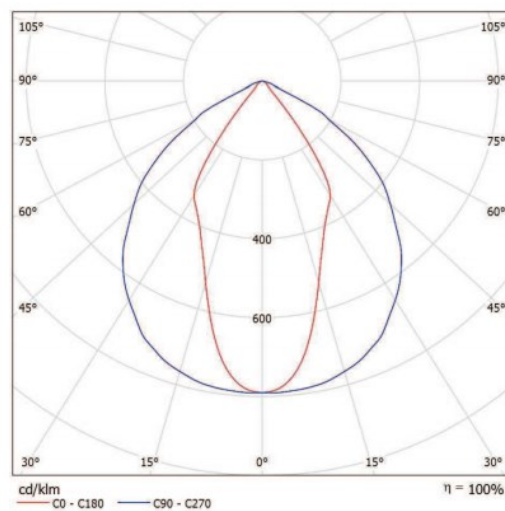
Tab. 11: Parametry svítidel osvětlení transformátoru T401.

Typ	Příkon	Světelný tok	Počet kusů	Naklonění svítidla	Instalovaná výška	Teplota chromatičnosti
	[W]	[lm]		[°]	[m]	[K]
<b>GUELL 2A40/W</b>	<b>120</b>	8 933	16	0	6	4000
<b>GUELL 1S/W</b>	<b>30</b>	2 351	4			
<b>GUELL 1A40/W</b>	<b>60</b>	4 543	15			
<b>GUELL 1 A40/W</b>	<b>30</b>	2 152	4		3	3000

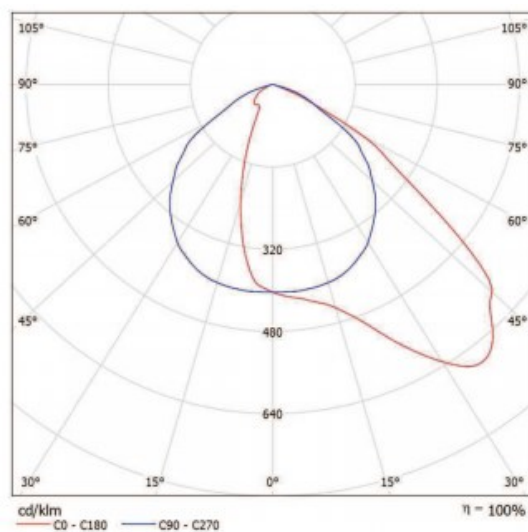


- SBP 06107994 **GUELL 1 A40/W** 30W ETRC 3000K
- SBP 06106694 **GUELL 1A40/W** 60W ETRC 4000K
- SBP 06106094 **GUELL 1S/W** 30W ETRC 4000K

Obr. 23: LED svítidlo typ: [21]



Obr. 24: Křivka svítivosti SBP 06106694 **GUELL 1A40/W** 60W ETRC 4000K [21]



Obr. 25: LED svítidlo a křivka svítivosti SBP 06094494 **GUELL 2A40/W** 120W ETRC 4000K [22]

### 3.1 Modelování osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice před i po rekonstrukci

Elektrická stanice Prosenice leží na Moravě, konkrétně v Olomouckém kraji. Stanice se nachází vzdušnou čarou ve vzdálenosti 6 km od Přerova a 20 km od Krajského města Olomouc. El. stanice Prosenice byla vybudována roku 1952, jako jedna z prvních rozveden na Moravě, se stanicemi Sokolnice a Lískovec. [10]

#### Stanice obsluhuje úseky vedení:

##### Trasy 400 kV:

- V402 Krasíkov-Prosenice, délka vedení 88 km, provoz od roku 1960
  - V403 Prosenice-Nošovice, délka vedení 80 km, provoz od roku 1959
  - V416 Mírovka-Prosenice, délka vedení 184 km, provoz od roku 1970
- V červenci 2019. proběhlo zasmyčkování původní trasy Řeporyje-Prosenice, do rozvodny Mírovka.
- V418 Otrokovice-Prosenice, délka vedení 38 km, provoz od roku 1978 [13]

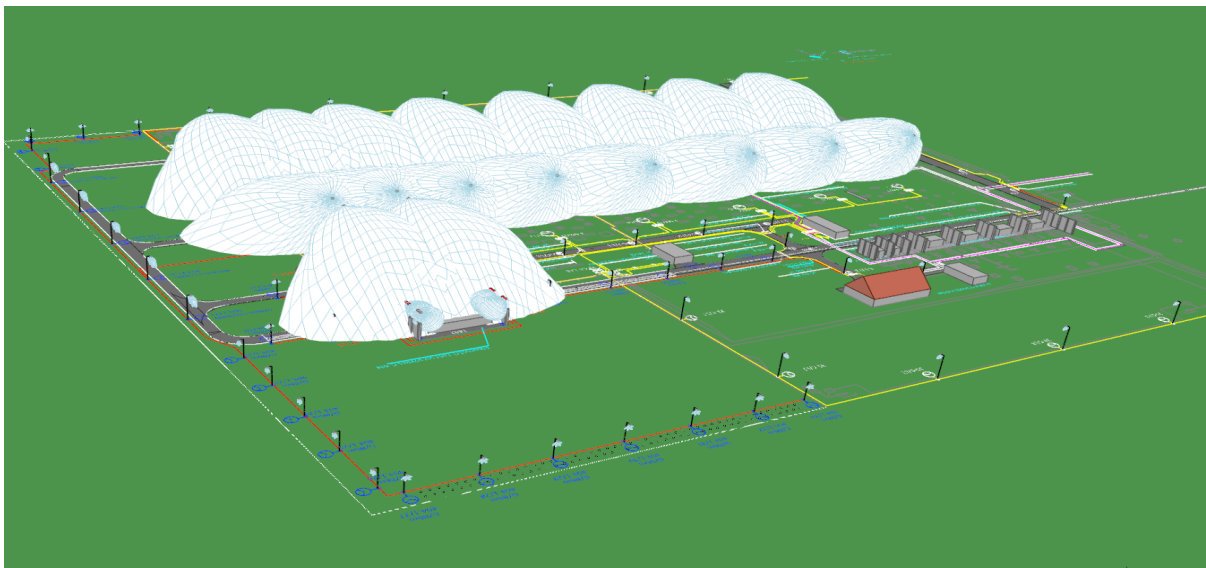
##### Trasy 220 kV:

- V251/252 Prosenice-Sokolnice, délka vedení 84 km, provoz od roku 1953 – dvojité vedení
- V253/254 Lískovec-Prosenice, délka vedení 71 km, od roku 1952 – dvojité vedení [14]

Pro modelování elektrické stanice Prosenice, jsem zvolil český osvětlovací software Building Design s modulem Wils.

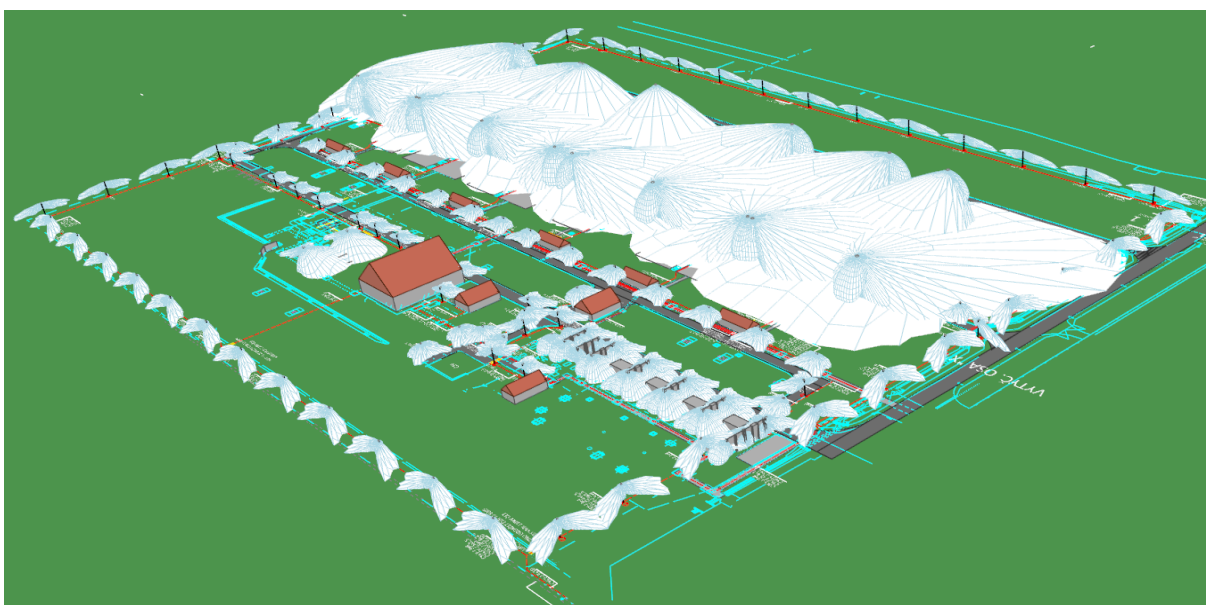
Praktická část, obsahuje dva modely elektrické stanice Prosenice.

První osvětlovací model původní stanice vychází z projektové dokumentace, rok 11/2013, která se zabývá úpravou vnější osvětlovací soustavy, z důvodu výstavby nového provozního pole, transformátoru T402 a výstavbou nového domku sekundární techniky UDC5. Výstavbou nových prvků, došlo k rozšíření stávající velikosti el. stanice. Popis původních a rozšiřujících osvětlovacích soustav je popsán v kapitole **2.3 Popis osvětlovacích soustav elektrických stanic ČEPS a požadavky na jejich provoz**. Původní stanice byla osvětlována soustavami, kde veškeré svítidla hlídacích i komunikací, byly se sodíkovými výbojkami. Halogenidové výbojky byly použity pro osvětlování provozních polí (vypínače, odpojovače) a transformátor T402, pro které je potřeba vyšší světelný tok k zajištění dostatečných podmínek, pro práci na zařízení. Dostupné materiály, pro vypracování původního modelu, neobsahovaly potřebné dokumenty pro osvětlení transformátorů T401, není tedy s tímto zařízením v původním modelu počítáno.



Obr. 26: Model el. stanice Prosenice – před rekonstrukcí.

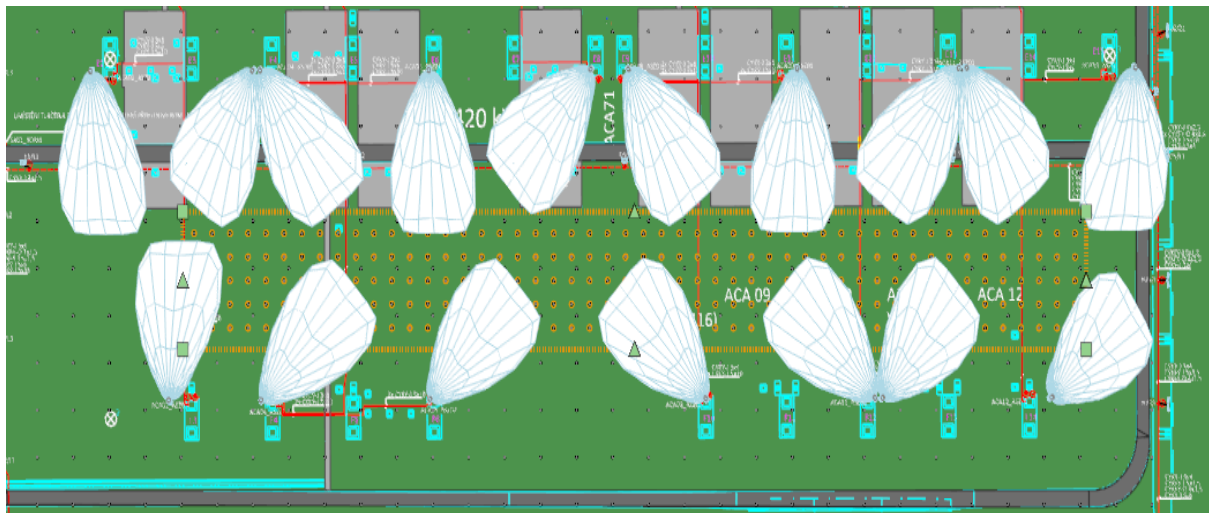
Model el. stanice Prosenice po rekonstrukci vychází z projektové dokumentace rok 06/2018. Projekt se zabývá modernizací veškerých osvětlovacích soustav, aby odpovídala nejnovějším technickým normám ČEPS TN59 a TN67. Veškeré původní osvětlovací výbojkové soustavy, jsou nahrazeny novými svítidly LED, které zaručují mnohem lepší světelné i energetické parametry, pro osvětlování důležitých zařízení rozvodny a jejich kontrolu. Provozní osvětlovací soustava zůstala u sodíkových výbojek, ale vývoj zaručuje výrazně lepší parametry, oproti původnímu světelnému zdroji. Propracovanějším natočením jednotlivých svítidel, použitím 65° stínidla, došlo k výraznému zlepšení světelných parametrů na osvětlovaných zařízeních a snížení produkovaného rušivého světla do horního poloprostoru. Rekonstruovaný model, zahrnuje nové osvětlování Transformátorů T401 a nově budovaného místa pro tlumivky. Oproti původnímu stavu, dostupné materiály nezahrnovaly osvětlování transformátorů T402, proto není v tomto modelu zahrnuto.



Obr. 27: Model el. stanice Prosenice – po rekonstrukci

### 3.1.1 Normálová osvětlenost – provozní pole

Oblast, která slouží k osvětlování důležitých technologických zařízení, osvětlení musí splňovat parametry v tab. 12, pro celkovou kontrolu zařízení při nepříznivých povětrnostních podmínkách.



Obr. 28: Měřící plocha provozního osvětlení.

Tab. 12: Požadavky na provozní osvětlení. [11]

Druh prostoru, úkonu nebo činnosti	$E_m$ [lx]	$U_o$ [-]	$GR_L$ [-]	$R_a$ [-]
Celková kontrola zařízení	50	0,40	50	20
Oprava el. zařízení + přídavné	200	0,50	45	60

$E_m$  – udržovaná osvětlenost (hodnota osvětlenosti, pod kterou nesmí na určité rovině průměrná osvětlenost klesnout)

$U_o$  – rovnoměrnost osvětlení (poměr minimální k maximální hodnotě osvětlenosti povrchu)

$GR_L$  – mezní hodnota činitele osvětlení (maximální hodnota přímého oslnění svítidly venkovních soustav)

$R_a$  – index podání barev (ověřené hodnoty indexu podání barev poskytuje výrobce) [11]

Dodržení udržované osvětlenosti  $E_m = 50$  lx je požadováno v rozvodnách hlavně v oblasti vypínačů a na stanovišti transformátorů a tlumivek zv. V ostatních oblastech může být osvětlenost nižší, ale minimálně 20 lx. [11]



## Umístění měřících bodů

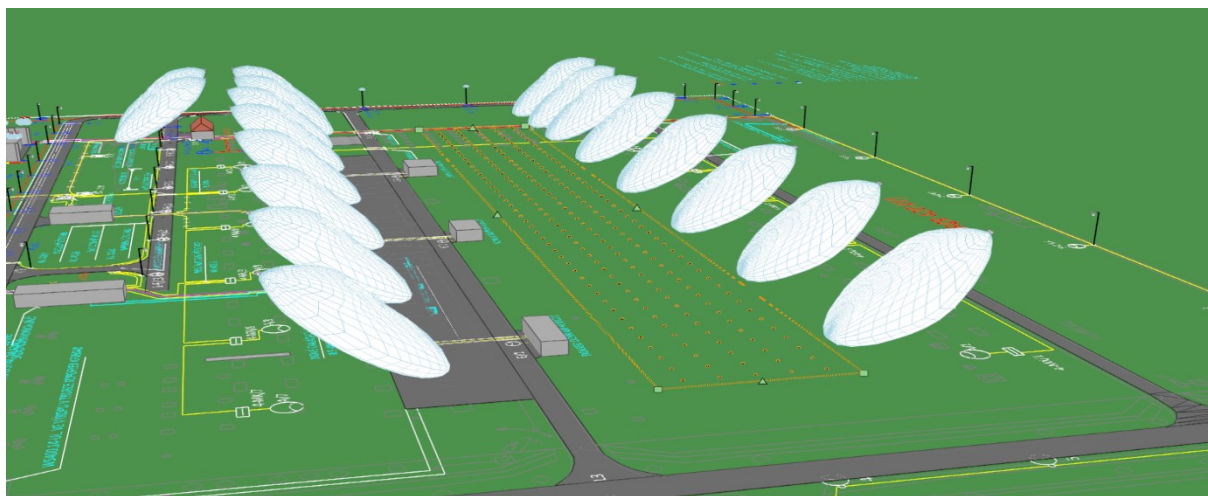
Pro vyhodnocení měřících provozních ploch byla vytvořena síť bodů, o velikost 250x30 m s roztečí jednotlivých měřících bodů 5 m. Měření probíhá v úrovni terénu tedy 0 m. Měřené provozní plochy jsou totožné pro stavy el. stanice před i po rekonstrukci. Vyznačena měřící plocha je na obr. 28 oranžovým obdélníkem. [11]

Tab. 13: Vypočtené osvětlenosti provozních polí el. stanice.

Rovnoměrnost provozní výpočetní plochy el. stanici Prosenice					
Stav	Zapnuto osvětlení	Osvětlenost $E_m$ [Lx]			Rovnoměrnost $U_0$ [-]
		Minimální	Průměrná	maximální	
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	53	73	96	0,72
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	42,5	90	179	0,47

## Vyhodnocení výsledků provozních polí:

Měření probíhalo při zapnutém veškerém osvětlení ve stanici. Tento stav demonstruje skutečný stav při kontrole, nebo opravě elektrických zařízení v el. stanici. Pro celkovou kontrolu zařízení bez přídavného osvětlení je požadováno  $E_m = 50$  lx a  $U_0 = 0,40$ , dle normy TN\_59\_2020. Nebylo splněno kritérium minimální osvětlenosti ve stavu před rekonstrukcí, konkrétně  $E_m = 42,5$  lx. Ostatní parametry splněny v obou situacích (před, po rekonstrukci). Po rekonstrukci osvětlení měření prokázalo splnění veškerých osvětlovacích parametrů, minimální osvětlenost  $E_m = 53$  lx, a rovnoměrnost  $U_0 = 0,72$ . Oproti původnímu stavu  $U_0 = 0,47$ . Tento vysoký parametr udává, že mezi nejvíce a nejméně osvětleným místem nevzniknou nepříjemné světelné propady osvětlenosti a osvětlovací parametry budou kvalitní po celé provozní ploše. Modernizace osvětlení, zaručila dostatečně kvalitní podmínky k vykonání oprav na důležitých elektrických zařízeních.

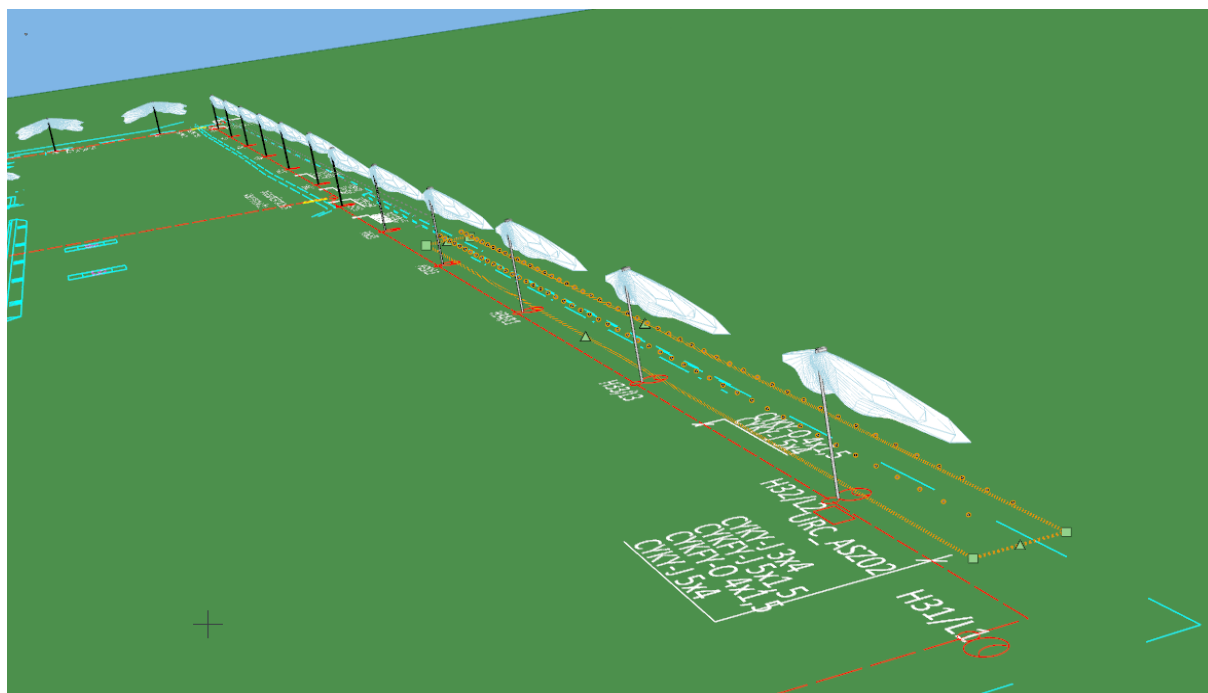


Obr. 29: Výpočetní plocha provozního osvětlení v el. stanici před rekonstrukcí.



### 3.1.2 Normálová osvětlenost – hlídací perimetr

Hlídací osvětlení v el. stanicích slouží k osvětlení hlídacího perimetru, aby byla zajištěna funkčnost kamerových systémů dálkového dohledu ostrahy daného objektu a správná funkce rozeznání obličeje, při možném vniknutí neoprávněné osoby na území stanice. Hlídací osvětlovací soustava je instalována podél celého venkovního oplocení a osvětluje okolní prostor neustále, tzn. za žádných neplánovaných okolností se nevypíná.



Obr. 30: Výpočetní plocha hlídacího osvětlení v el. stanici.

#### Požadavky na osvětlení

Pro zabezpečení majetku a ochrany zdraví v el. stanicích jsou dle normy ČSN EN 12464-2 zařazeny tyto hodnoty:

Tab. 14: Požadavky na hlídací osvětlení. [11]

Druh prostoru, úkonu nebo činnosti	$E_m$ [lx]	$U_o$ [-]	$GR_L$ [-]	$R_a$ [-]
Venkovní rozvodny	10	0,40	45	20

#### Umístění měřících bodů:

Pro vyhodnocování měřících ploch pro hlídací perimetr byla vytvořena síť bodů, kde bylo umístěno 10 měřících bodů mezi dvěma svítidly. Rozteč mezi jednotlivými body je 2 m. Měřící plocha je posuzována ve výšce 1 m nad terénem. Délka měřícího hlídacího perimetru je 100 m a šířka 4 m. Měřené hlídací plochy jsou totožné pro stav před i po rekonstrukci. Měřící plocha je vyznačena na obr. 30, oranžovým obdélníkem. [11]

Tab. 15: Vypočtené osvětlenosti hlídacích perimetrů el. stanice.

Rovnoměrnost hlídací výpočetní plochy el. stanice Prosenice					
Stav	Zapnuto osvětlení	Osvětlenost $E_m$ [Lx]			Rovnoměrnost $U_0$ [-]
		Minimální	Průměrná	maximální	
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	16,5	30,5	46,1	0,54
	Hlídací	16,5	30,5	46,1	0,54
před rekonstrukci	Veškeré ve stanici	10,9	26,7	68	0,41
	Hlídací	9,17	25	66	0,37

#### Vyhodnocení výsledků hlídacího osvětlení:

Při vyhodnocování hlídacího perimetru, můžou nastat 2 situace. První situace, která je nejběžnější je zapnuto pouze hlídací osvětlení podél celého oplocení. Druhá možnost je zapnuto hlídací osvětlení a ostatních osvětlovacích soustav (komunikace, provozní, apod.). V tab. 15., jsou vyhodnoceny oba tyto stavy. Požadované hodnoty hlídacího parametru jsou posuzovány dle normy TN\_59\_2020. Nevyhovující stav podle měření nastal pouze při zapnutém hlídacím osvětlení před rekonstrukcí, minimální osvětlenost klesla pod hodnotu 10 lx, konkrétně  $E_m = 9,17$  lx. Může se zdát, že hodnota není příliš vzdálená od minimálního vhodného kritéria, ale musíme brát zřetel, že tento parametr je podstatný pro zaručení bezpečnosti el. stanice a správného vyhodnocení hlídacích kamer podél oplocení. Ostatní změřené varianty splňují minimální požadavky dle normy. Modernizace hlídacího osvětlení výrazně zlepšila parametry pro oba měřené stavy (hlídací, veškeré zapnuté osvětlení). Nejběžnější stav, při kterém je zapnuto pouze hlídací osvětlení, bylo modernizací dosaženo skoro dvojnásobné zlepšení světelných parametru, z  $E_m$  z 9,17 lx na 16,5 lx. Důležitou informací je konstantní hlídací osvětlenost, při osvětlování jen hlídací soustavou a osvětlování veškerými svítidly v elektrické stanici. To znamená, že ostatní svítidla neovlivňují hodnoty hlídacího perimetru.

### 3.1.3 Normálová osvětlenost – komunikace

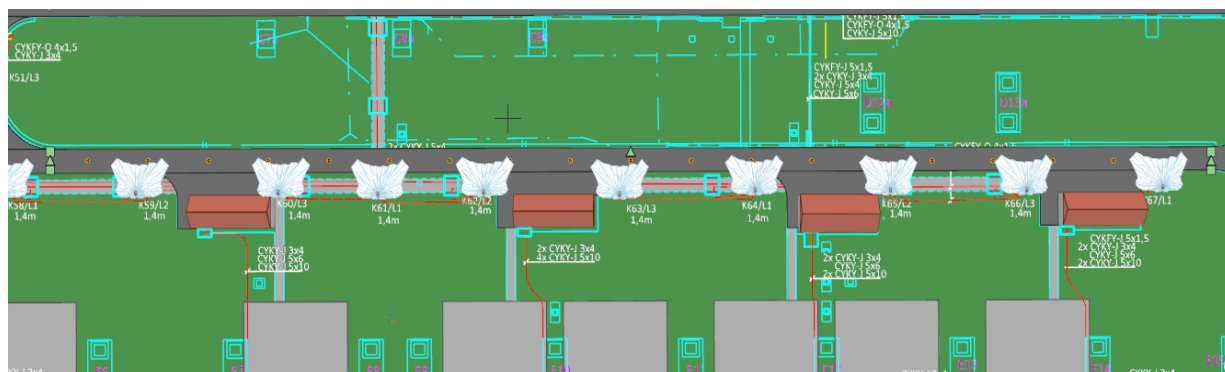
Slouží k provozu osvětlení důležitých vnitřních komunikací, cest a chodníků ve venkovních prostorech transformovny, aby byl zajištěn bezpečný provoz, pohyb osob a mechanizace za snížené viditelnosti. Osvětlení komunikací je zařazeno do kategorie osvětlení pro pomalu jedoucí vozidla (max 10 km/h). [11]

Tab. 16: Požadavky na osvětlení komunikací. [11]

Druh prostoru, úkonu nebo činnosti	$E_m$ [lx]	$U_o$ [-]	$GR_L$ [-]	$R_a$ [-]
Komunikace vyhrazené pro pomalu jedoucí vozidla i chodce	10	0,40	50	20

#### Umístění měřících bodů:

Pro vyhodnocování měřící plochy komunikace byla vytvořena soustava hodnocených bodů o velikosti 150x3 m. Měřící body byly měřeny v řadě v rozteči 10 m od sebe v 0 m nad terénem. Měřené plochy komunikace jsou totožné pro stav el. stanice před i po rekonstrukci. Na obrázku níže je měřená plocha vyznačena oranžovým obdélníkem. V el. stanici je větší počet komunikací, pro měření jsem zvolil úsek, který vede podél domků techniky.



Obr. 31: Měřící plocha osvětlení komunikace.

Tab. 17: Vypočtené hodnoty osvětlenosti na měřící ploše komunikace.

Rovnoměrnost výpočetní plochy komunikace v el. stanici Prosenice					
Stav	Zapnuto osvětlení	Osvětlenost $E_m$ [Lx]			Rovnoměrnost $U_0$ [-]
		Minimální	Průměrná	maximální	
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	14,6	19,2	25,5	0,76
	komunikace	14	18,2	23,4	0,77
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	12,3	54	131	0,23
	komunikace	6,7	23,2	43,1	0,29

#### Vyhodnocení měřených bodů komunikace:

Pro vyhodnocování kvality osvětlení komunikací, jsou měřeny stavy při zapnutí pouze osvětlovací soustavy komunikací a zapnutí veškerého osvětlení v el. stanici. Osvětlovací soustava před rekonstrukcí, nesplňovala alespoň jeden parametr v obou měřených variantách dle normy TN\_59\_2020. Rovnoměrnost osvětlovací soustavy nevyhovovala v žádném měření osvětlování komunikací, tento nízký parametr prokazuje výrazné změny osvětlenosti podél celé komunikace. V některých částech je osvětlenost vysoká  $E_{\max} = 43,1$  lx, oproti tomu nejnižší změřený bod, který nevyhovuje rovněž dle normy  $E_{\min} = 6,7$  lx, což je 6,5x nižší hodnota oproti maximu. Totožná měřená plocha, při modernizovaném osvětlení splňovalo veškeré parametry dle normy. Minimální osvětlenost úseku komunikace osvětlována pouze svítidly komunikace dosáhla 2x vyšších hodnot  $E_m = 14$  lx, oproti stavu před rekonstrukcí  $E_m = 6,7$  lx. Rovnoměrnost měřeného úseku je rovněž na vysokých hodnotách  $U_0 = 0,77$ , oproti  $U_0 = 0,23$  před rekonstrukcí. To zaručuje dostatečně kvalitní osvětlení podél celého měřeného úseku komunikace.

#### 3.1.4 Osvětlenost celé el. stanice

Měřená normálová osvětlenost celé plochy elektrické stanice, byla změřena v úrovni terénu tedy v 0 m. Rozteče mezi jednotlivými měřeními body jsou 5x5 m.

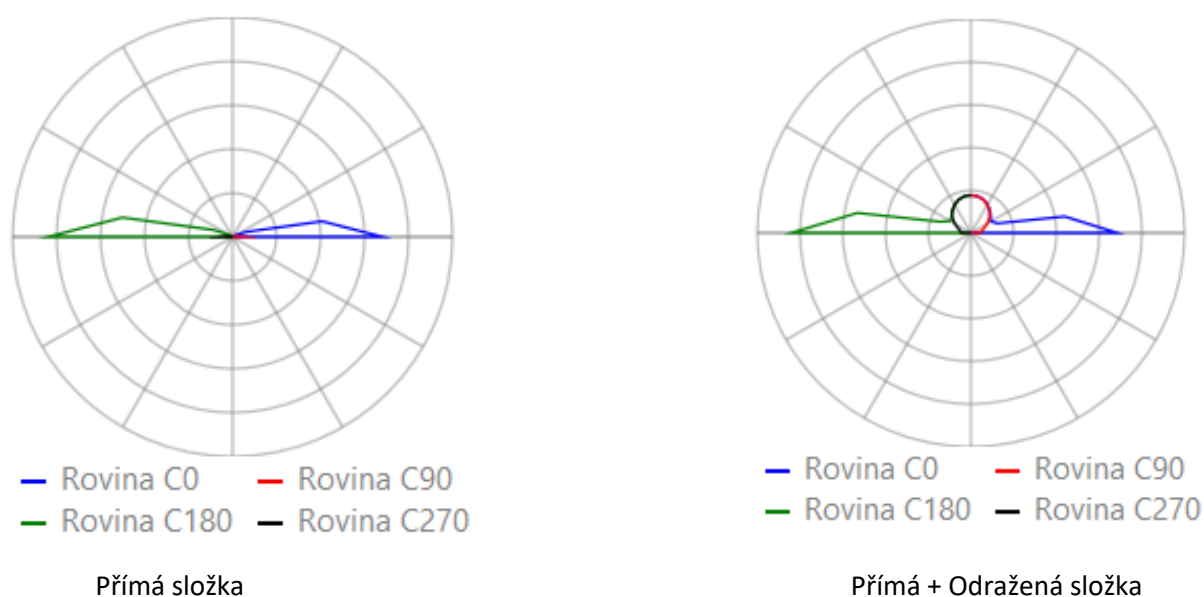
Tab. 18: Osvětlenost celé el. stanice.

Osvětlenost celé elektrické stanice Prosenice			
Stav	Zapnuto osvětlení	Osvětlenost $E_m$ [Lx]	
		Průměrná	maximální
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	27,9	317
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	32,3	465

### 3.2 Posouzení osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice z hlediska jejího vyzařování do horního poloprostoru

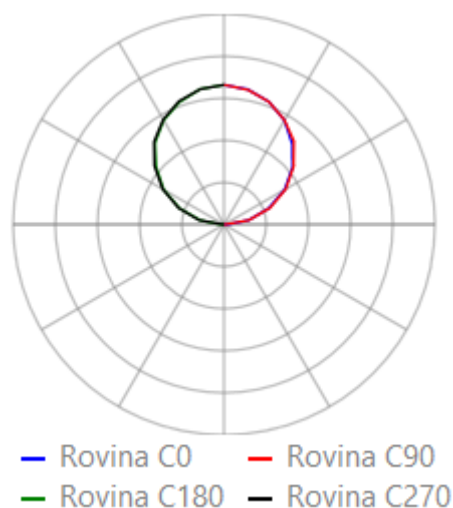
K vytvoření modelu a výpočtu rušivého světla, byl použit software Building Desing (BD) s modulem Wils. Výpočet rušivého světla el. stanice jsem provedl vložím modelu do středu kulové soustavy hodnocených bodů. Výpočetní body, jsou rozloženy v rovinách C po 10° a gama po 10°. Poloměr kulové soustavy musí být min. 6x větší než poloměr měřeného modelu, viz obr. 11. Tento poměr zaručí, že model bude vyzařovat jako bodový zdroj do okolí a výsledkem bude rušivé světlo vyzařující ze světelného modelu do okolního prostředí. Jednotlivé výpočty byly provedeny s udržovacím činitelem 1.

Na obrázcích níže, jsou zobrazeny výstupy z programu BD, pro modely elektrické stanice Prosenice před a po rekonstrukci, které vyzařují světelný tok do horního poloprostoru. Měření je provedeno pro přímé a odražené složky světelných toků z osvětlovacích soustav v el. stanici.



Obr. 32: Vyzařovací charakteristiky sv. toku z el. stanice před rekonstrukcí do horního poloprostoru.

Na obrázku výše, je na levé straně zobrazení vyzařovací charakteristiky přímé složky světelného toku do horního poloprostoru z el. stanice před rekonstrukcí. Celkový světelný tok všech svítidel v el. stanici před modernizací byl 4 649 klm. Nežádoucí přímá složka, která vyzařovala do horního poloprostoru byla 306,8 klm, což je 6,6 % z celkového světelného toku. Odražená složka světelného toku, která je způsobena značným množstvím betonových, odrazných ploch v terénu stanice a zvyšuje rovněž světelné znečištění. Před modernizací byla odražený světelný tok 232,2 klm, což představuje 5 % z celkového světelného toku. Celkový nežádoucí světelný tok, přímé a odražené složky při zapnutém veškerém osvětlení stanice je 539 klm, tedy 11,6 %.



Obr. 33: Vyzařovací char. odražené složky rušivého světla z el. stanice po rekonstrukci.

Na obrázku 33. je vyzařovací charakteristika odražené složky rušivého světla do horního poloprostoru po modernizaci. Přímá složka je oproti stavu před rekonstrukcí nulová, což značí nejlepší možný stav, který lze dosáhnout a je tedy eliminována značná část rušivého světla. Odražená složka světelného toku je 287 klm, což je 8,5 % z celkového světelného toku stanice 3 375 klm. Složka odražená se po modernizaci navýšila o 55 klm, oproti stavu před rekonstrukcí. Toto navýšení je způsobeno snížením travnatých ploch v zástavbě elektrické stanice, které byly nahrazeny povrchem betonovým o větší odraznosti oproti plochám travnatým.

### 3.2.1 Porovnání výsledků měření rušivého světla

Tab. 19: Porovnání hodnot rušivého světla el. stanice.

Stav	Příkon osvětlovací soustavy	Světelný tok osvětlovací soustavy	Světelný tok do horního poloprostoru			
			přímý		přímý + odražený	
	[kW]	[klm]	[klm]	[%]	[klm]	[%]
po rekonstrukci	27	3 375	0	0	287	8,5
před rekonstrukcí	49,35	4 649	306,8	6,6	539	11,6

Modernizací osvětlení el. stanice se snížil příkon osvětlovacích soustav o 45 %, oproti předešlému stavu. Rovněž se snížil celkový světelný tok, ale jak můžeme zpozorovat z kap. 3.1 Modelování osvětlovacích soustav elektrické stanice Prosenice před i po rekonstrukci, světelný tok je rovnoměrněji distribuován ve všech částech stanice, a tedy je lépe využit. Rušivé světlo distribuované do horního poloprostoru z přímé a odražené složky, je nyní nižší o 47 %.

Z hlediska nákladů na osvětlování je velký důraz kladen na hlídací soustavu, protože ta je potřebná k osvětlování perimetru okolo plotu, zajištění bezpečnosti a osvětluje nepřetržitě po celou dobu. Nevypíná se za žádných neplánovaných situací. Po modernizaci svítidel s vyšší účinností se snížil příkon o 0,6 kW a vzrostl světelný tok o 41 %, oproti dřívějšímu stavu. Snížením příkonu hlídacího osvětlení o 0,6 kW a cenou 5 Kč za kW ušetříme 26 280 Kč za rok.

### 3.2.2 Ekonomické zhodnocení hlídacího osvětlení:

Tab. 20: Ekonomické parametry hlídacího osvětlení.

Hlídací osvětlení		
Stav	Příkon [kW]	Světelný tok [klm]
po rekonstrukci	2,4	342
před rekonstrukcí	3	243

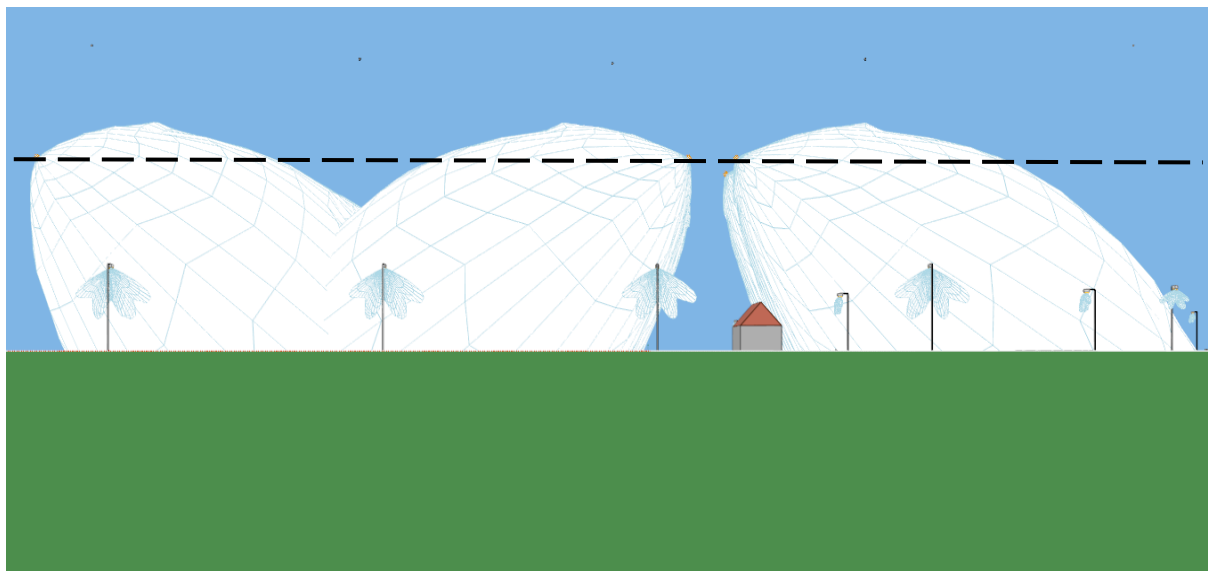
$$Cena\ před\ rekonstrukcí = příkon \cdot h \cdot dní \cdot cena\ za\ kW = 3 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 5 = 131\ 400\ Kč$$

$$Cena\ po\ rekonstrukci = příkon \cdot h \cdot dní \cdot cena\ za\ kW = 2,4 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 5 = 105\ 120\ Kč$$

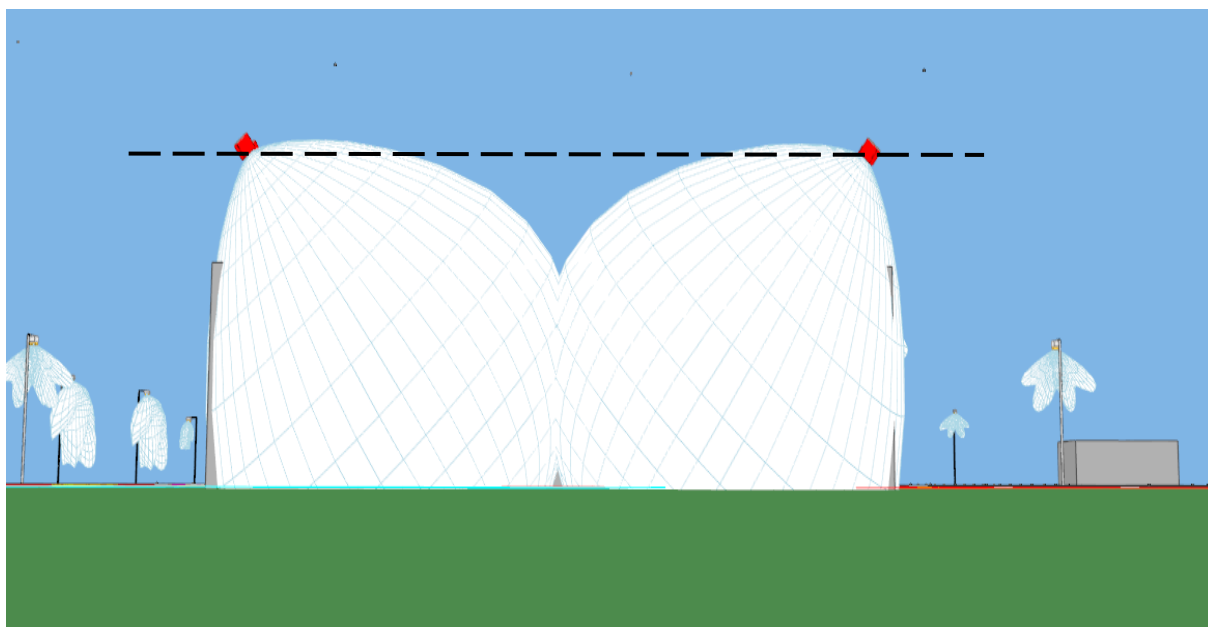
Roční úspora při neustálém provozu hlídacího osvětlení po rekonstrukci je 26 280 Kč.

V případě ceny za kW = 5 Kč.

Na obrázcích níže, je zobrazení osvětlovacích soustav (provozní, osvětlení transformátoru T402) před rekonstrukcí elektrické stanice Prosenice. Nad přerušovanou čarou je oblast, kde svítidla vyzařují nežádoucí přímou složku světelného toku do horního poloprostoru a navyšují světelný smog v okolí el. stanice.



Obr. 34: Část provozního osvětlení v el. stanici, která míří přímo do horního poloprostoru.



Obr. 35: Část osvětlení transformátoru T402 v el. stanici, která míří přímo do horního poloprostoru.



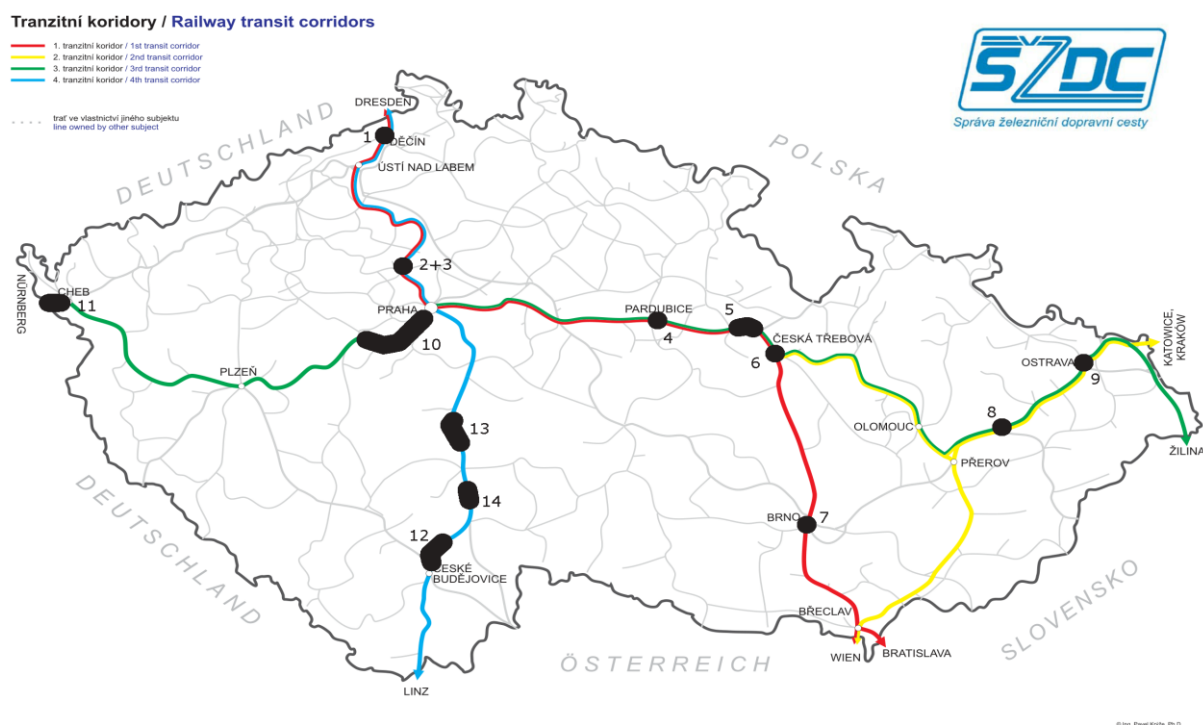
### 3.3 Posouzení vlivu osvětlovacích soustav elektrické stanice na blízky železniční koridor

Železniční koridor Ostrava – Olomouc/Přerov

Posouzení osvětlovacích stanic elektrické stanice Prosenice na blízkou železniční trať ve vzdálenosti vzdušnou čarou 225 m, od hranice oplocení el. stanice, je podstatné z vytížení železniční trati, která je provozována neustále. Blízká trať je mezinárodního významu, ve státním měřítku ji nazýváme 2. a 3. tranzitním koridorem.

Druhý tranzitní koridor vede z Polska před Ostravu, Přerov a Břeclav do Rakouska.

Třetí tranzitní koridor zároveň nejdelším v ČR vede ze Slovenska a kopíruje část úseku 2. TŽK přes Ostravu, Přerov a dále se odklání na Českou Třebovou, Pardubice, Praha, Plzeň a Cheb za hranice do Německa.

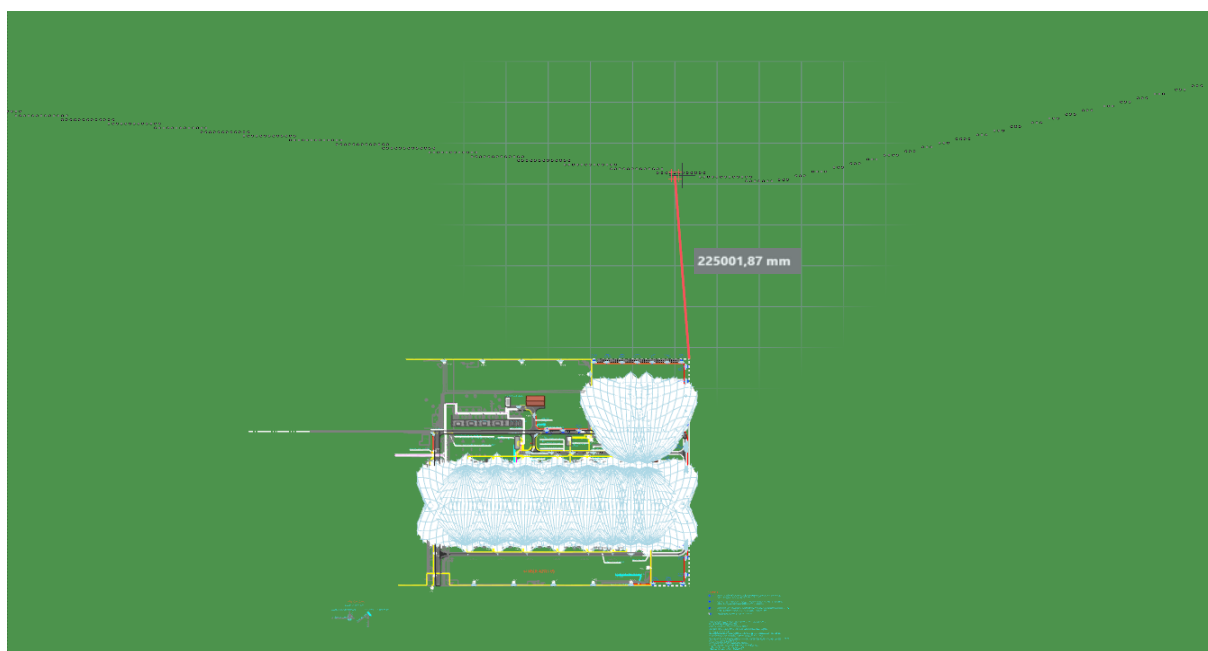


Obr. 36: Mapa železničních koridorů v ČR. [15]

Na obrázku 37, je satelitní mapa, která zachycuje reálný pohled z vrchu na elektrickou stanici Prosenice a její blízké okolí. Okolí je převážně tvořeno loukami a blízkým železničním koridorem Ostrava-Přerov, který vede svou trať v nejbližší vzdálenosti 225 m, od oplocení stanice. Na obrázku 38, je fotografie vytvořeného modelu el. stanice a zaznačená hodnota vzdálenosti od železniční tratě, která souhlasí s reálným stavem.



Obr. 37: Satelitní mapa el. stanice Prosenice a blízkého železničního koridoru.



Obr. 38: Vytvořený model v programu Building Design s měřícími body oslnění GR žel. koridor

### 3.3.1 Výpočet činitele oslnění GR pro blízký železniční koridor

Měřené hodnoty činitele oslnění GR, blízkého železničního koridoru byly měřeny ve výšce 2 m nad terénem z pohledu strojvůdce hnacího vozidla. Byly provedeny 2 měření. První měření bylo provedeno v 8 směrech po 45 °, které simuluje situaci, když strojvůdce odvrátí zrak od směru lokomotivy do strany. Druhé měření simuluje stav, kdy osoba sleduje trať ve směru lokomotivy.

Tab. 21: Maximální hodnota oslnění okolí el. stanicí Prosenice.

	GR [-]
Maximální hodnota oslnění	50

Tab. 22: Hodnoty oslnění žel. koridoru, pohled z kolejiště v 8 směrech po 45 °

Činitel oslnění železničního koridoru vůči el. stanici Prosenice			
Stav	Zapnuto osvětlení	GR [-]	
		Průměrná hodnota	maximální hodnota
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	22,4	40,4
	Hlídací + komunikace	19,75	31,2
	Hlídací	0	0
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	70,3	87,8
	Hlídací + komunikace	36,8	51,2
	hlídací	40,8	52,7

#### Vyhodnocení výsledků měření:

Měření oslnění železniční tratě, vůči el. stanici před rekonstrukcí v 8 směrech po 45° nesplnilo normu v žádném uvedeném měření, která uvádí, že oslnění nesmí přesáhnout hodnotu 50. Při zapnutém veškerém osvětlení elektrické stanice dosáhla maximální hodnota oslnění 87,8. Měření při zapnutých osvětlovacích soustavách komunikace a hlídacího osvětlení, rovněž nesplnilo maximální toleranci hodnoty 50, ale maximální oslnění nepatrně tuto hodnotu přesáhly, konkrétně 51,2, při zapnutí jen hlídacího osvětlení max. hodnota oslnění 52,7.

Měřením po modernizaci osvětlovacích soustav, je zjištěno, že oslnění nepřesáhlo v žádném uvedeném případě maximální hodnotu 50 a jsou splněna požadovaná kritéria. Při nejčastějším stavu, kdy je zapnuto pouze hlídací osvětlení, které osvětluje neustále, jsou hodnoty oslnění 0, tedy nemají žádný vliv na oslnění z pohledu trati.

Tab. 23: Hodnoty oslnění žel. koridoru, pohled z kolejiště ve směru vlaku.

Činitel oslnění železničního koridoru vůči el. stanici Prosenice			
Stav	Zapnuto osvětlení	GR [-]	
		Průměrná hodnota	maximální hodnota
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	19,7	40,4
	Hlídací + komunikace	16,7	28,4
	Hlídací	0	0
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	55,2	83,9
	Hlídací+ komunikace	33,1	47,8
	Hlídací	35,9	48,6

#### Vyhodnocení výsledků měření:

Měření simuluje situaci, při které strojvůdce sleduje trať ve směru jízdy. Stav osvětlovací soustavy před rekonstrukcí nesplňuje kritérium oslnění, při stavu zapnutého veškerého osvětlení ve stanici, maximální hodnota 83,9. Další měření, při kterém je zapnuto osvětlení hlídací s osvětlením komunikací a stav zapnutého pouze hlídacího osvětlení, splnilo maximální dovolenou hodnotu oslnění 50, ale hraničně konkrétně 48,6.

Rekonstruované osvětlovací soustavy splnily v každém měření podmínky a nepřesáhly hodnotu oslnění GR 50. Nejběžnější stav, při kterém je zapnuto pouze hlídací osvětlení byla vypočtena hodnota oslnění 0, tedy žádný vliv na oslnění z pohledu trati. Nejnepříznivější stav nastane, při zapnutí veškerého oslnění ve stanici, při kterém je maximální hodnota oslnění 40,4, ale je dodržena maximální dovolená hodnota. Rekonstruované osvětlení v elektrické stanici Prosenice, v žádném možném stavu, nepříznivě neoslňuje blízký železniční koridor.

## Závěr:

Cílem této diplomové práce je namodelování reálného stavu elektrické stanice Prosenice v požadovaném softwaru, následné vyhodnocení parametrů osvětlovacích soustav před a po modernizaci svítidel a jejich vliv na okolí.

Teorie práce je z části zaměřená na vznik a eliminaci rušivého světla. Vytvořil jsem pracovní postup, který slouží k modelování osvětlovacích situací a následnému výpočtu světelného znečištění. Rovněž jsem tuto stanici zařadil do environmentální zóny E2, dle kritérií, které vycházejí z okolního prostředí přilehlého k umístění el. stanice.

Práce obsahuje popis instalací a parametrů jednotlivých svítidel, všech osvětlovacích soustav jak ve stavu před rekonstrukcí, tak po modernizaci osvětlení stanice. Všechny výpočty jsou zpracovány pro obě simulované situace.

Při výpočtech normálových osvětleností stanice (hlídací, komunikace, provozní pole) jsou výsledky zpracovány dle interní normy ČEPS TN\_59\_2020, která obsahuje popis požadovaných osvětlovacích parametrů a umístění měřicích bodů. Modernizovaná osvětlovací soustava, která je převážně tvořena svítidly LED, splňuje ve všech ohledech kritéria dané normou. Oproti tomu původní svět. soustavy nedosahují v některých případech světelných parametrů, které jsou potřebné ke splnění dané normy pro osvětlení el. stanic. Při nejběžnějším stavu osvětluje pouze hlídací osvětlení, které je zapnuté neustále a nevypíná se v žádné neplánované situaci. Při modernizované soustavě je minimální osvětlenost ( $E_m = 16,5 \text{ lx}$ ) skoro 2x vyšší, oproti původní osvětlovací soustavě ( $E_m = 9,17 \text{ lx}$ ), která nesplňuje interní normu, ta předepisuje  $E_m = 10 \text{ lx}$ .

Při výpočtech rušivého světla bylo počítáno s přímou i odraženou složkou světelného toku. U modernizovaného osvětlení bylo vypočteno, že do horního poloprostoru vyzařuje 0 lm. To je výrazná úspora, než u původní světelné soustavy, kde přímou složkou vyzařovala 306,8 klm. Příkon osvětlovací soustavy se při použití moderních svítidel a zlepšením energetických parametrů snížil o 45 %, vůči původnímu stavu.

Tab. 24: Příkon osvětlovacích soustav, rušivé světlo.

Stav	Příkon osvětlovací soustavy	Světelný tok osvětlovací soustavy	Světelný tok do horního poloprostoru			
			přímý		přímý + odražený	
	[kW]	[klm]	[klm]	[%]	[klm]	[%]
před rekonstrukcí	49,35	4 649	306,8	6,6	539	11,6
po rekonstrukci	27	3 375	0	0	287	8,5

Z hlediska oslnění (GR) železniční tratě Přerov-Hranice na Moravě, je při zapnutí pouze hlídacího osvětlení LED hodnota GR 0. Tím nemá žádný vliv na blízkou trať. Při zapnutí veškerého osvětlení stanice dosahuje oslnění 40,4, ale je stále v toleranci přípustné maximální hodnoty, tedy splňuje všechny požadavky pro bezpečný provoz. Původní soustava při zapnutí pouze hlídacího osvětlení dosahovala hodnot oslnění 48,6, ale pouze když strojvedoucí sleduje pouze trať. Při letmém ohlédnutí do strany už oslnění přesahuje maximální hodnotu 50, konkrétně 52,7. Nová osvětlovací soustava dosahuje zlepšení ve všech parametrech, které mnou byly zjištěny.

Tab. 25: Oslnění železniční tratě, pohled strojvedoucího ve směru vlaku.

Činitel oslnění železničního koridoru vůči el. stanici Prosenice			
Stav	Zapnuto osvětlení	GR [-]	
		Průměrná hodnota	maximální hodnota
před rekonstrukcí	Veškeré ve stanici	55,2	83,9
	hlídací	35,9	48,6
po rekonstrukci	Veškeré ve stanici	22,4	40,4
	Hlídací	0	0

Přínosem této práce jsou vyhotovené realistické modely el. stanice Prosenice s osvětlovací soustavami před a po její modernizaci. Modely byly vytvořeny v softwaru Building Design (Wils). Je zde tedy možnost je nadále rozšiřovat a využívat v dalších projektech. Taktéž je dosaženo výsledků kvality nového osvětlení stanice v porovnání s minulým stavem, a jejich vliv na oslnění nedalekého železničního koridoru. Zhotovené osvětlovací modely el. stanice jsou k této práci přiloženy.

Další vývoj tohoto tématu může být ve vyhotovení všech ostatních elektrických stanicích ČEPS, kterých je dohromady 44 na napěťových hladinách 400,220 a 110 kV. Všechny modely by mohly být následně využity v budoucích plánech modernizací osvětlení a získávání potřebných výpočtů k dalšímu použití a prezentování. Další rozvoj práce vidím v zapojení ostatních energetických společností, které přiléhají k areálu společnosti ČEPS. Spoluprací lze dosáhnout přesných výpočtů rušivého světla z celého areálu, a v tomto případě i na oslnění blízké železniční tratě.

## Literatura:

- [1] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] Rušivé světlo. *Časopis pro světlo a osvětlování* [online]. [2011] [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/rusive-svetlo--15320>
- [3] WOLNY, David. *Osvětlení venkovních rozvodů v souvislosti s požadavky na kamerové osvětlení a rušivé světlo* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98535/WOL053\\_FEI\\_N2649\\_3907T001\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98535/WOL053_FEI_N2649_3907T001_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [4] *Svítlidla pro veřejné osvětlení a rušivé světlo* [online]. , 22 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.porsennaops.cz/uploads/media/default/0001/01/f9d8868c008960613a5e7723873c824280dbece8.pdf>
- [5] Hvězdná obloha. *Česká astronomická společnost* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.astro.cz/rady/svetelne-znecistení/hvezdna-obloha.html>
- [6] ČSN EN 12464–2. Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů: Část 2: Venkovní pracovní prostory. Český normalizační institut, 2005
- [7] *Wils 7.0 - Návrh a výpočet umělého osvětlení* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.astrasw.cz/wils>
- [8] *VÝPOČETNÍ PROGRAM WILS* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/wils/>
- [9] *WILS 7.0 - Návrh a výpočet umělého osvětlení* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://mail.astrasw.cz/cs/wils-7>
- [10] ŠMÍD, Jakub. *Česká přenosová a distribuční soustava - 2. díl: Rozvodny přenosové soustavy* [online]. 2019 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/prenos-elektriny/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-2-dil-rozvodny-prenosove-soustavy>
- [11] *Venkovní a vnitřní osvětlení v objektech elektrických stanic PS. 4*. ČEPS, 2020, 25 s.
- [12] *Technické prostředky fyzické ochrany majetku. 5*. ČEPS, 2020, 25 s.
- [13] ŠMÍD, Jakub. *Česká přenosová a distribuční soustava – 4. díl: Vedení 400 kV* [online]. 2019 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/prenos-elektriny/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-3-dil-vedeni-400-kv>
- [14] ŠMÍD, Jakub. *Česká přenosová a distribuční soustava - 3. díl: Vedení (Ochranná pásma, vedení 110 kV a 220 kV)* [online]. 2019 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-3-dil-vedeni-ochranna-pasma-vedeni-110-kv-a-220-kv>

- [15] *Tranzitní železniční koridory* [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Tranzitni-zeleznicni-koridory>
- [16] SO 340 - VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ NATOČENÍ A NAKLOPENÍ SVÍTIDEL. 2018.
- [17] CiviTEQ / CQ 24L70-740 WS BPS CL1 M42 GY-S [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://www.thornlighting.com/en/products/outdoor-lighting/road-lighting/CiviTEQ/civiteq-small-wide-street-optic/96665389>
- [18] HORO 1000 A/M [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.performanceinlighting.com/ww/en/products/prod-04023094>
- [19] *THEOS 8/A58/W-40K-96/70W 06216496* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [https://www.enika.cz/theos-8-a58-w-40k-96-70w-06216496\\_z40329/](https://www.enika.cz/theos-8-a58-w-40k-96-70w-06216496_z40329/)
- [20] *GUELL3/A40/W 260W 40K 1-10V 06116594* [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: [https://www.enika.cz/guell3-a40-w-260w-40k-1-10v-06116594\\_z21022/](https://www.enika.cz/guell3-a40-w-260w-40k-1-10v-06116594_z21022/)
- [21] *GUELL 1/S/W 30W 40K-94 ETRC 2 06106094* [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: [https://www.enika.cz/guell-1-s-w-30w-40k-94-etrc-2-06106094\\_z20660/](https://www.enika.cz/guell-1-s-w-30w-40k-94-etrc-2-06106094_z20660/)
- [22] *GUELL 2/A40/W 120W 40K-94 ETR 06094494* [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: [https://www.enika.eu/guell-2-a40-w-120w-40k-94-etr-06094494\\_z20683/](https://www.enika.eu/guell-2-a40-w-120w-40k-94-etr-06094494_z20683/)



**Přílohy:**

„Přílohy jsou uloženy v informačním systému EDISON.“

Soubory jsou uloženy ve formátu bdg, který je primárně určen pro software Building Design.

- A) Model el. stanice Prosenice po rekonstrukci
- B) Model el. stanice Prosenice před rekonstrukcí